



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN MELALUI
SQUARE DUCT DAN *SQUARE ELBOW 90°* DENGAN *SINGLE
GUIDE VANE* MENGGUNAKAN *THREADED DISTURBANCE
BODY* DENGAN VARIASI JARAK LONGITUDINAL PADA
SALURAN *UPSTREAM DUCT***

**AULIA AZIZAH
NRP 02111645000045**

**Dosen Pembimbing
Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS THROUGH
SQUARE DUCT AND SQUARE ELBOW 90° WITH SINGLE GUIDE
VANE USING THREADED DISTURBANCE BODY WITH
LONGITUDINAL DISTANCE VARIATION ON UPSTREAM DUCT**

**AULIA AZIZAH
NRP 02111645000045**

**Advisor
Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK ALIRAN
MELALUI SQUARE DUCT DAN SQUARE ELBOW
90° DENGAN SINGLE GUIDE VANE
MENGUNAKAN *THREADED DISTURBANCE BODY*
DENGAN VARIASI JARAK LONGITUDINAL PADA
SALURAN UPSTREAM DUCT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AULIA AZIZAH
NRP. 02111645000045

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT (Pembimbing)
NIP. 197104051997021001
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, PhD (Penguji I)
NIP. 196412281990031002
3. Nur Ikhwani, ST, M.Eng (Penguji II)
NIP. 196709151995121001

SURABAYA

JULI, 2018

Studi Eksperimen Karakteristik Aliran Melalui Square Duct dan Square Elbow 90° dengan Single Guide Vane menggunakan *Threaded Disturbance Body* dengan Variasi Jarak Longitudinal pada Saluran Upstream Duct

Nama Mahasiswa : Aulia Azizah
NRP : 02111645000045
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT.

ABSTRAK

Berbagai fenomena aliran fluida banyak ditemukan dalam industri yang sering kita jumpai, seperti pada instalasi pembangkit listrik dan instalasi pengkondisian udara (*Air Handling Unit*) pada gedung-gedung ataupun *mall* pada perkotaan. Instalasi-instalasi saluran fluida tidak hanya menggunakan sistem perpipaan dengan pipa lurus, melainkan dapat juga menggunakan pembelokan aliran, penggabungan aliran, ataupun percabangan aliran. Pemasangan *fitting* perpipaan ini akan membuat aliran di dalam *elbow* mengalami *pressure drop* yang lebih besar. Salah satu usaha untuk mengurangi *pressure drop* yang terjadi di dalam *elbow* 90° adalah menambahkan sebuah bodi pengganggu berupa *Threaded Disturbance Body* (TDB). Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan model saluran berpenampang bujursangkar (*square duct*) dengan $D_h = 125 \text{ mm}$ yang terdiri dari : *upstream duct* (*straight duct*) dengan panjang $7D_h$, pengganggu berupa TDB, *elbow* 90°, dan dilengkapi *downstream duct* (*straight duct*) dengan panjang $15D_h$, serta *induced draft fan*. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan *pitot static tube*, *inclined manometer*, dan *pressure transducer*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak $0,1D_h$ sampai $0,5D_h$ dan $0,9D_h$ *Reynolds Number* yg digunakan untuk mendapatkan nilai *pressure drop* dan koefisien *loss minor elbow* 90° adalah $1,59 \times 10^4$ sampai $15,9 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 20 m/s dengan kenaikan kecepatan 2 m/s), untuk

mendapatkan nilai *Pressure Coefficient* pada *elbow 90°* adalah $3,17 \times 10^4$, $9,52 \times 10^4$, dan $1,59 \times 10^5$, sedangkan untuk mendapatkan profil kecepatan digunakan kecepatan 12 m/s dengan *Reynolds Number* $9,52 \times 10^4$. Hasil penelitian ini diperoleh bahwa penempatan TDB efektif menurunkan *pressure drop*. Penempatan TDB pada jarak $l/D_h = 0.4$ merupakan jarak paling efektif untuk menurunkan *pressure drop*, dimana penurunan rata-rata *ratio* perbandingan *pressure drop* (DB/D_0) sebesar 1,009. Sedangkan pada variasi TDB ($l = 0,9D_h$) justru mengalami peningkatan dengan rata-rata *ratio* perbandingan *pressure drop* (DB/D_0) sebesar 1,069. Untuk nilai koefisien losses (K) *elbow 90°* pada variasi TDB ($l = 0,4D_h$) memiliki nilai rata-rata *ratio* perbandingan (DB/D_0) koefisien losses (K) *elbow 90°* sebesar 0,981. Sementara variasi TDB ($l = 0,9D_h$) memiliki rata-rata *ratio* perbandingan (DB/D_0) koefisien losses (K) *elbow 90°* sebesar 1,1693. *Pressure coefficient* (C_p) terbesar pada sisi *outer elbow 90°* adalah variasi tanpa IDB dengan nilai tertinggi pada puncak grafik sebesar 0,777. Sedangkan untuk variasi TDB $l/D_h = 0.4$ dan $l/D_h = 0.9$ menunjukkan grafik yang hampir mirip dengan nilai tertinggi pada puncak grafik adalah sebesar 0,0477 dan 0,0879. *Pressure coefficient* (C_p) terkecil pada sisi *inner elbow 90°* adalah pada variasi $l/D_h = 0.4$ dengan nilai terendah pada dasar grafik sebesar -0,45712, selanjutnya variasi tanpa TDB dengan nilai terendah -0,5375, dan variasi $l/D_h = 0.9$ dengan nilai terendah -0,6297. Pengamatan profil kecepatan dilakukan pada bidang horizontal dan vertikal pada section 2,4,6,10 dan 14 menunjukkan bahwa dengan penambahan TDB, profil kecepatan horizontal pada section 2 – 4 memiliki bentuk yang berbeda dibanding tanpa TDB, sedangkan untuk profil kecepatan vertikal pada section 2 - 6 juga memiliki bentuk yang berbeda dibanding tanpa TDB. Pada section 6 - 14 untuk *horizontal* dan section 10-14 untuk *vertikal* semua variasi menunjukkan bentuk profil kecepatan yang mirip.

Kata kunci: *Threaded Disturbance Body, Profil Kecepatan, Pressure Drop, Square Duct, Elbow 90°, Variasi Jarak*

Experimental Study of Flow Characteristics Through Square Duct and Square Elbow 90° with Single Guide Vane using Threaded Disturbance Body with Longitudinal Distance Variation on Upstream Duct

Name : Aulia Azizah
NRP : 02111645000045
Department : Teknik Mesin FTI – ITS
Lecturer : Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT.

Various fluid flow phenomena are found in industries that we often encounter, such as power plant installations and air conditioning units (Air Handling Unit) in buildings or malls in urban areas. Fluid channel installations not only use piping systems with straight pipes, but can also use flow deflection, stream merging, or flow branching. Installation of these piping fittings will make the flow inside the elbow experience a greater pressure drop due to friction loss, separation loss, and secondary flow that occurs after passing through the accessories. One attempt to reduce the pressure drop that occurs inside the 90 ° elbow is to add a threaded disturbance body (TDB). This experiment was conducted experimentally with square duct with $D_h = 125$ mm model consisting of: upstream duct (straight duct) with $7D_h$ length, TDB disturbance, 90 ° elbow, and equipped with downstream duct (straight duct) with length $15D_h$, and induced draft fan. Measurements in this study using pitot static tube, inclined manometer, and pressure transducer. Tests were performed with variations of $0.1 D_h$ to $0.5D_h$ and $0.9D_h$ Reynolds Numbers used to obtain pressure drop and 90° minor elec- tion loss coefficients were 1.59×10^4 to 15.9×10^4 (air velocity of 2 m/s to 20 m/s with a speed increase of 2 m/s), to get the value of Pressure Coefficient on 90° elbow is 3.17×10^4 , 9.52×10^4 , and 1.59×10^5 , while to get the speed profile used speed 12 m/s with Reynolds Number $9,52 \times 10^4$. The results of this study obtained that the placement of effective

TDB reduce pressure drop. Placement of TDB at a distance of $l/Dh = 0.4$ is the most effective distance to lower the pressure drop, where the decrease in the average ratio of pressure drop ratio ($DB/D0$) is 1.009. While on the variation of TDB ($l = 0.9Dh$) actually increased with the average ratio of pressure drop ratio ($DB/D0$) of 1.069. For the value of losses coefficient (K) elbow 90° on TDB variation ($l = 0.4Dh$) has a mean value ratio ratio ($DB/D0$) losses coefficient (K) elbow 90° of 0.981. While the TDB variation ($l = 0.9Dh$) has an average ratio ratio of (d) losses coefficient (K) elbow 90° at 1.1693. The largest pressure coefficient (C_p) on the 90° outer elbow is a variation without IDB with the highest score at the top of the chart of 0.777. As for the variation of TDB $l/Dh = 0.4$ and $l/Dh = 0.9$ shows the graph that is almost similar to the highest value at the peak of the chart is of 0.0477 and 0.0879. The smallest pressure coefficient (C_p) on the inner elbow side 90° is at the variation $l/Dh = 0.4$ with the lowest value at the bottom of the graph of -0.45712, then the variation without TDB with the lowest value of -0.5375, and variation $l/0.9$ with a low of -0.6297. The observations of the velocity profiles performed on the horizontal and vertical plane of sections 2,4,6,10 and 14 show that with the addition of TDB, horizontal velocity profiles in section 2-4 have different shapes than without TDB, whereas for vertical velocity profiles in section 2 - 6 also has a different shape than without TDB. In sections 6 - 14 for horizontal and section 10-14 for vertical all variations show similar speed profile shapes.

Keywords: *Threaded Disturbance Body, Velocity Profile, Pressure Drop, Square Duct, 90° Elbow, Distance Variation*

KATA PERNGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan penuh syukur penulis mengucapkan “Alhamdulillah” atas segala kenikmatan yang telah diberikah Allah swt sehingga tugas akhir dengan judul “Studi Eksperimen Karakteristik Aliran Melalui Square Duct dan Square Elbow 90° dengan Single Guide Vane menggunakan *Threaded Disturbance Body* dengan Variasi Jarak Longitudinal pada Saluran Upstream Duct” dapat selesai sesuai dengan harapan penulis. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Umardini dan Ibu Noorul Hanany Rasyid serta kakak saya Winny Soraya, ST dan Nora Kurniawati Spd yang selalu memberikan dukungan, doa dan segalanya kepada saya.
2. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberikan masukan dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Eng.Sc., Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Dr. Eng Unggul Wasiwitono, ST, M.Eng.Sc selaku dosen wali saya terimakasih atas saran-saran yang telah diberikan kepada saya.
5. Tim Dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.

6. Pak Tris di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah membantu peminjaman peralatan laboratorium.
7. Ahmad Hisyam, Zidqi Oddie Matovani dan Dheka Arga Utama sebagai rekan satu tim tugas akhir.
8. Rekan-rekan angkatan ganjil 2016 Lintas Jalur dan semua Warga D3 Teknik Mesin yang memberi motivasi dan semangat kepada penulis.

Akhir kata penulis berharap tugas akhir ini dapat berguna untuk semuanya. Saya meminta maaf apabila dalam tugas akhir ini masih ditemui banyak kesalahan. Kritik dan saran yang membangun penulis harapkan agar dapat memperbaiki diri kembali.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	Error! Bookmark not defined.
ABSTRACT	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah ..	Error! Bookmark not defined.
1.3 Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Tujuan Penelitian....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Manfaat Penelitian..	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.	Error! Bookmark not defined.
2.1 Sistem Saluran Udara (<i>Ducting</i>)	Error! Bookmark not defined.
2.2 Klasifikasi Aliran Fluida	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Aliran <i>Viscous</i> dan <i>Inviscid</i> ..	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Aliran <i>Laminar</i> dan <i>Turbulen</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i>	Error! Bookmark not defined.
2.3 Persamaan Euler Dalam Koordinat <i>Streamline</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4 <i>Reynolds Number</i> ...	Error! Bookmark not defined.
2.5 Tekanan Statis, Tekanan Stagnasi, dan Tekanan Dinamis	Error! Bookmark not defined.
2.6 Karakteristik Aliran di dalam Saluran Udara .	Error! Bookmark not defined.
2.6.1 Aliran Berkembang Penuh	Error! Bookmark not defined.
2.6.2 Aliran Sekunder (<i>secondary flow</i>) yang Terjadi pada <i>Elbow</i>	Error! Bookmark not defined.

2.6.3	Proses Terjadinya Separasi Aliran Pada <i>Elbow</i> 90°	Error! Bookmark not defined.
2.7	<i>Head Loss</i>	Error! Bookmark not defined.
2.7.1	<i>Head Loss Mayor</i>	Error! Bookmark not defined.
2.7.2	<i>Head Loss Minor</i>	Error! Bookmark not defined.
2.8	<i>Pressure Coefficient</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9	Penelitian Terdahulu	Error! Bookmark not defined.
2.9.1	Karakteristik Aliran Melalui <i>Single guide vane Elbow</i> 90°	Error! Bookmark not defined.
2.9.2	Karakteristik Aliran Melalui <i>Elbow</i> 90° dengan Penambahan <i>Inlet Disturbance Body</i> (IDB)	Error! Bookmark not defined.
	Bookmark not defined.	
	BAB III METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1	Skema Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2	Peralatan Pendukung	Error! Bookmark not defined.
3.2.1	<i>Centrifugal Fan</i>	Error! Bookmark not defined.
3.2.2	<i>Honey Comb, Screen, dan Nozzle</i>	Error! Bookmark not defined.
3.2.3	<i>Inlet Disturbance Body</i> .	Error! Bookmark not defined.
3.2.4	<i>Elbow</i> 90° dengan <i>Single guide vane</i>	Error! Bookmark not defined.
3.2.5	Alat Ukur	Error! Bookmark not defined.
3.3	Analisa Dimensi Parameter-Parameter yang Dianalisa	Error! Bookmark not defined.
3.3.1	Analisa Grup Tak Berdimensi untuk <i>Pressure drop</i> pada <i>Square Ducting</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.2	Analisa Grup Tak Berdimensi untuk kecepatan pada <i>Square Ducting</i>	Error! Bookmark not defined.
3.4	Langkah-Langkah Validasi...	Error! Bookmark not defined.
3.4.1	Alat yang digunakan	Error! Bookmark not defined.

- 3.4.2 Validasi Tekanan Dinamis **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.4.3 Validasi Tekanan Statis **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.5 Prosedur Pengambilan Data **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.6 Urutan Langkah Pengambilan Data **Error! Bookmark not defined.**
- BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASANError! Bookmark not defined.**
- 4.1 *Pressure drop pada Square Duct dengan Reynolds Number $1.5 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1.5 \times 10^5$* **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.2 Pressure drop persection pada Square Duct dengan Reynolds Number $1.5 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1.5 \times 10^5$ **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.3 *Loss Coefficient Single Guide Vane Elbow 90° pada Square Duct dengan Reynolds Number $1.5 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1.5 \times 10^5$* **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.4 *Pressure Coefficient Single Guide Vane Elbow 90° pada Square Duct dengan Reynolds Number 9.52×10^4* **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.5 Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal pada bagian *Upstream* dan *Downstream* dengan $Re_{Dh} 9.52 \times 10^4$ **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.5.1 Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal bagian *Upstream*..... **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.5.2Profil Kecepatan Bidang Horizontal bagian *Downstream* **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.5.3 Profil Kecepatan Bidang Vertikal bagian *Downstream* **Error! Bookmark not defined.**

4.6 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu ... **Error! Bookmark not defined.**

4.6.1 Perbandingan Velocity Profile dengan penelitian Halwan Firmansyah Farich [2016] **Error! Bookmark not defined.**

BAB V_KESIMPULAN DAN SARAN**Error! Bookmark not defined.**

5.1 Kesimpulan Hasil Penelitian **Error! Bookmark not defined.**

5.2 Saran**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR PUSTAKA.....64

LAMPIRAN **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2. 1 Macam – macam bentuk *ducting* (a) *Circular Tube*
(b) *Square Duct* **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 2 Klasifikasi fluida berdasarkan jenis alirannya (Fox dan Mc. Donald, 8th edition) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 3 Ilustrasi aliran *inviscid* dan *viscous* (Fox dan Mc. Donald, 2011) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 4 Lapis batas dengan *advers gradient* (Fox dan Mc. Donald, 8th edition) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 5 Aliran *laminar* (Munson et al,2002) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 6 Aliran transisi (Munson et al,2002) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 7 Aliran *turbulen* (Munson et al,2002) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 8 Gerakan partikel fluida pada *streamline* (Fox dan Mc. Donald, 8th edition) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 9 Pengukuran tekanan stagnasi dan tekanan statis (Fox dan Mc. Donald, 2011) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 10 Profil aliran *internal flow* pada pipa (Cengel dan Cimbala , 2006) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 11 Terjadinya *secondary flow* pada belokan (Miller, 1990) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 12 Separasi aliran pada *elbow circular* **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 13 Terjadinya separasi aliran pada *boundary layer* **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 14 Profil kecepatan pada *elbow* (a) tanpa *guide vane*, (b) 1 *guide vane*, (c) 2 *guide vane*, (d) 3 *guide vane* (Sutardi dkk, 2010)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 15 (a) Skema instalasi penelitian, (b) Penempatan *circular disturbance body* (Wawan dkk, 2014).**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 16 (a) Grafik *pressure drop* diameter 25 mm, (b) Grafik *pressure drop* diameter 37.5 mm (Wawan dkk, 2014)..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 17 Skema Instalasi Penelitian (Hardian,2017) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 18 *Pressure drop* pada *square duct* dengan *square elbow 90°* dengan variasi *Reynolds Number* $3,97 \times 10^4 < Re_{Dh} < 13,5 \times 10^4$ dan variasi jarak (l/Dh) *Inlet Disturbance Body* 0,1 – 0,5 (Hardian, 2017) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2. 19 (a) Grafik *velocity profile* section 13 dan (b) grafik *velocity profile* section 14 bidang horizontal pada *Square Duct* dengan *Square Elbow 90°* dengan variasi *Reynolds Number* $8,74 \times 10^4$ dan variasi jarak (l/Dh) *Inlet Disturbance Body* 0,1– 0,5 (Hardian, 2017) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 1 Skema instalasi penelitian **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 2 Model Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 3 Instalasi Penelitian.. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 4 (a) *Centrifugal Fan* (b) *Inverter* ...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 5 *Honey Comb, Screen, Nozzle*... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 6 *Inlet Circular Disturbance Body* ..**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 7 *Elbow 90°* dengan *Single guide vane***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 8 *Pitot tube*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 9 Skema pemasangan *wall pressure tap***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 10 (a) DAQ PRO 5300, (b) Differential Pressure Transmitter **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 11 *Inclined Manometer***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 12 Skema validasi tekanan dinamis dengan *pressure transducer 1" WC*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 13 Hasil validasi tekanan dinamis *pressure transducer 1" WC*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 14 Skema validasi tekanan statis dengan *pressure transducer 3" WC*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 15 Hasil validasi tekanan statis dengan *pressure transducer 3" WC*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 16 Lokasi perhitungan untuk *pressure drop***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 17 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 1 *Pressure drop* pada *square duct* dan *square elbow 90°* dengan variasi *Reynolds Number* $1.5 \times 10^4 < Re_{Dh} < 1.5 \times 10^5$ dengan dan tanpa *Cylinder Disturbance Body* jarak $(l/Dh) = 0.1$ dan 0.9 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 2 *Pressure drop* pada *upstream straight duct* dengan dan tanpa *Cylinder Disturbance Body* jarak $(l/Dh) = 0.1$ dan 0.9 **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 3 <i>Pressure drop</i> pada <i>single guide vane elbow 90°</i> dengan dan tanpa <i>Cylinder Disturbance Body</i> jarak (l/D_h)= 0.1 dan 0.9	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 4 <i>Pressure drop</i> pada <i>downstream straight duct</i> dengan dan tanpa <i>Cylinder Disturbance Body</i> jarak (l/D_h)= 0.1 dan 0.9	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 Koefisien <i>Losses Elbow 90°</i> pada <i>Square Duct</i> dengan <i>Square Elbow 90°</i> dengan variasi <i>Reynolds Number</i> $1.5 \times 10^4 < Re_{D_h} < 1.5 \times 10^5$ dan variasi jarak (l/D_h) =0.1 dan 0.9	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 6 <i>Pressure Coefficient</i> pada <i>Single Guide Vane Elbow 90°</i> tanpa <i>Cylinder Disturbance Body</i> dan dengan Variasi Jarak (l/D_h) = 0,1 dan 0.9 menggunakan <i>Reynolds Number</i> 9.5×10^4	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 7 Grafik <i>velocity profile</i> (a) bidang horizontal (b) bidang vertikal sisi <i>upstream straight duct</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 8 Profile kecepatan bidang horizontal sepanjang <i>downstream</i> pada masing-masing posisi <i>cross-section</i> (a) NO CDB; (b) CDB ($l = 0.1D_h$); (c) CDB ($l = 0.9D_h$).....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 9 Profile kecepatan bidang vertikal sepanjang <i>downstream</i> pada masing-masing posisi <i>cross-section</i> (a) NO CDB; (b) CDB ($l/D_h = 0.1$); (c) CDB ($l/D_h = 0.9$)	59
Gambar 4. 10 Perbandingan profil kecepatan hasil eksperimen dengan penelitian H.F Farich [2016] pada <i>single guide vane elbow 90°</i>	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1Pengaruh penambahan *guide vane* terhadap *pressure drop* (Sutardi dkk, 2010) **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3. 1 Lokasi perhitungan profil kecepatan **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3. 2 Urutan Langkah Pengambilan Data **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 1 Section pengambilan profil kecepatan pada downstream..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 2 Persamaan dan Perbedaan Penelitaian..... 60

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Berbagai fenomena aliran fluida banyak ditemukan dalam industri yang sering kita jumpai, seperti pada instalasi pembangkit listrik, instalasi pengolahan minyak, instalasi transportasi air, dan instalasi pengkondisian udara (*Air Handling Unit*) pada gedung-gedung ataupun *mall* pada perkotaan. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang dapat mengkondisikan udara di dalam gedung tersebut agar kenyamanan dapat tercapai, namun sebagai konsekuensinya kebutuhan energi yang dibutuhkan menyumbang cukup besar dari total kebutuhan energi pada gedung tersebut. Salah satu penggunaan *fitting* perpipaan adalah dengan menggunakan *elbow* 90° . Hal tersebut terjadi karena adanya *friction loss*, *separation loss*, dan *secondary flow* yang terjadi setelah melewati aksesoris tersebut. Separasi terjadi akibat ketidakmampuan aliran melawan *adverse pressure*.

Sedangkan terbentuknya *secondary flow* terjadi akibat adanya perbedaan tekanan pada sisi *inner* dan *outer wall* dan akibat adanya interaksi *boundary layer* pada *endwall flow*. Kerugian-kerugian yang terjadi pada aliran baik kerugian gesekan (*friction loss*) dan kerugian akibat separasi (*separation loss*) dan *secondary flow* tersebut mengakibatkan terjadi fenomena aliran yang baru yaitu, terbentuknya *vortex* yang dapat mengurangi energi aliran sebagai akibat dari *separation loss* dan terjadinya penyumbatan aliran (*blockage effect*) serta mengurangi *effective flow area* sebagai akibat adanya *secondary flow* pada *cross section area*. Salah satu usaha untuk mengurangi *pressure drop* yang terjadi di dalam *elbow* 90° adalah menambahkan sebuah pengganggu berupa *Threaded Disturbance Body* sebelum *inlet elbow*. Penambahan pengganggu sebelum *inlet elbow* ini bertujuan untuk menunda *separation point* dan membuat aliran terjadi turbulensi. Semakin turbulen suatu aliran maka akan memiliki momentum yang lebih besar sehingga dapat mengurangi gaya hambat (*drag force*) pada

suatu konfigurasi lingkaran silindris dan juga menambah kemampuan untuk melawan *adverse pressure*. Selain itu, dengan berkurangnya *drag force*, akan terjadi penurunan pada *minor head losses* sehingga nilai *pressure drop* yang terjadi juga akan semakin mengecil.

H.C Lim & S.J Lee (2003) melakukan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct*. Simulasi ini menggunakan model PIV dilakukan pada $Re = 8000-140000$ yang memiliki ukuran geometri $0,72 \times 0,6 \times 6m$. Variasi yang dilakukan pada bentuk permukaan pengganggu, dengan pengganggu pertama berbentuk silinder ($D=60mm$) dan pengganggu kedua berupa silinder *U-grooved* ($D=60mm$). Hasil penelitian ditunjukkan dengan PSD *distribution* yang dihitung di sisi *downstream* pada $Re= 24000, 40000, 56000$ dan 96000 , dimana frekuensi *vortex shedding* dinyatakan dalam bentuk *Strouhal Number* sebagai parameter tak berdimensi. Ketika jumlah *Reynolds Number* meningkat maka frekuensi *vortex shedding* akan meningkat. Pada silinder *U-grooved* menunjukkan lebih efektif menekan pembentukan *vortex* dibanding silinder biasa. Selain itu, semakin tinggi nilai *Reynolds number* maka daerah separasi bergeser ke kanan dan tekanan lokal menurun. Pada silinder *U-grooved* yang memiliki kekasaran permukaan lebih besar mampu menurunkan nilai *pressure drop* dan koefisien drag pada nilai *Reynolds number* yang tinggi. Selain itu adanya kekasaran permukaan yang lebih tinggi pada silinder *U-grooved* mampu mengurangi gaya gesek dan menunda terjadinya separasi.

Aqfha (2016) Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan model saluran berpenampang bujursangkar (*square duct*) dengan $D_h = 125 mm$. Penempatan *inlet disturbance body* pada saluran dengan jarak $0,1D_h$ merupakan jarak paling efektif untuk meningkatkan intensitas turbulensi dan menurunkan *pressure drop*, dimana pada sisi *inner outlet elbow 90°* memiliki intensitas turbulensi tertinggi yaitu sebesar 30,92% dan nilai intensitas turbulensi terendah terjadi pada saluran yang menggunakan *inlet*

disturbance body dengan jarak $0,4D_h$ yaitu sebesar 8,07% serta memiliki *pressure drop* terendah dengan persentase kenaikan *pressure drop* sebesar 23,57%, sedangkan pada jarak *inlet disturbance body* $0,5D_h$ memiliki *pressure drop* tertinggi dengan persentase kenaikan *pressure drop* sebesar 17,09%.

Rizky (2017) Penelitian ini menggunakan *square duct* dengan diameter hidrolis (D_h) sebesar 125 mm. Saluran udara terdiri dari *upstream duct* sepanjang $7D_h$, SDB dengan diameter sebesar 12,5 mm, *elbow 90°* dengan radius kelengkungan (R/D_h) sebesar 2, dan *downstream duct* sepanjang $15D_h$. SDB diletakkan pada gap (g/d) tetap sebesar 0,2 dari sisi *inner* dengan variasi jarak (l/D_h) sebesar 0,1 sampai 0,5 dari *inlet elbow 90°*. Untuk mendapatkan profil kecepatan *downstream duct* bidang vertikal maupun horizontal, *pressure coefficient* (C_p), *pressure drop square duct*, dan *minor loss coefficient* (K) *elbow 90°* pada ReD_h sebesar $3,97 \times 10^4 \leq ReD_h \leq 1,39 \times 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 17 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s). Hasil penelitian ini diperoleh bahwa penempatan SDB efektif menurunkan *pressure drop* dan mengurangi *blockage area*. Penempatan SDB pada saluran dengan jarak $l = 0,5D_h$ merupakan jarak paling optimal untuk meningkatkan intensitas turbulensi dan menurunkan *pressure drop*, dimana penurunan nilai rata-rata *pressure drop* sebesar 13,2%.

1.2. Rumusan Masalah

Pada latar belakang masalah di atas, telah dijelaskan beberapa penyebab terjadinya *pressure drop* aliran di dalam *elbow 90°*, diantaranya disebabkan karena adanya *friction loss*, *separation loss*, dan *secondary flow*. Adanya intensitas turbulensi yang cukup kuat dari *shear layer* (aliran yang terseparasi) pada *Threaded Disturbance Body* (TDB) diharapkan mampu memberikan agitasi pada *boundary layer* aliran yang melintasi dinding saluran yang memiliki kelengkungan, yaitu dengan melawan *adverse pressure* dan *wall shear stress* serta mampu menambah momentum aliran untuk mengurangi *blockage area*

pada sisi *inner wall*. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai fenomena aliran pada *square duct* setelah melewati *elbow 90°* dan juga melewati suatu body pengganggu yaitu *Threaded Disturbance Body* (TDB) yang divariasikan terhadap jarak $0,1D_h$ sampai $0,5D_h$ dan $0,9 D_h$ pada *upstream duct*.

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sehingga pembahasan dalam penelitian ini terfokus dan tidak melebar dari tujuan awal. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Fluida kerja adalah udara dengan profil kecepatan udara *uniform* pada sisi *inlet*, sifat *incompressible*, *viscous* dan *steady*.
2. Temperatur fluida yang mengalir melalui saluran udara diasumsikan konstan.
3. Perpindahan panas akibat gesekan antara udara dengan dinding saluran dapat diabaikan.
4. Kekasaran dinding diabaikan.
5. Aliran yang melintasi saluran udara termasuk dalam *region* aliran turbulen.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum dalam penelitian ini yaitu guna mengetahui pengaruh interaksi aliran antara *Threaded Disturbance Body* (TDB) dan kelengkungan (*elbow 90°*) dinding saluran berpenampang bujur sangkar (*square duct*) yang divariasikan terhadap jarak peletakkan TDB yaitu $0,1D_h$ sampai $0,5D_h$ dan $0,9 D_h$ pada *inner upstream duct*, untuk mengetahui karakter aliran tersebut dilakukan studi eksperimental, adapun tujuan khusus dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui *pressure drop* antara *outlet duct* dan *inlet duct*.
2. Mengetahui koefisien *loss minor elbow 90°*.

3. Mengetahui nilai *Pressure Coefficient* (C_p) pada *elbow 90°*.
4. Mengetahui profil kecepatan pada *downstream duct* (posisi bidang horizontal dan vertikal).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapat setelah melakukan penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan penjelasan tentang *pressure drop* instalasi saluran udara antara *downstream duct* dan *upstream duct* yang dipasang TDB pada sisi *inner upstream duct* dengan saluran yang tidak dipasang TDB.
2. Memberikan penjelasan tentang *pressure drop* antara *inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90°* serta koefisien *loss minor elbow 90°* yang dipasang TDB pada sisi *inner upstream duct* dengan saluran yang tidak dipasang TDB
3. Memberikan gambaran tentang perbedaan nilai *Pressure Coefficient* (C_p) pada *elbow 90°* yang dipasang TDB pada sisi *inner upstream duct* dengan saluran yang tidak dipasang TDB.
4. Memberikan gambaran tentang perbedaan profil kecepatan aliran pada *downstream duct* yang melewati suatu saluran berpenampang *square* dan *elbow 90°* yang dipasang TDB pada sisi *inner upstream duct* dengan saluran yang tidak dipasang TDB.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

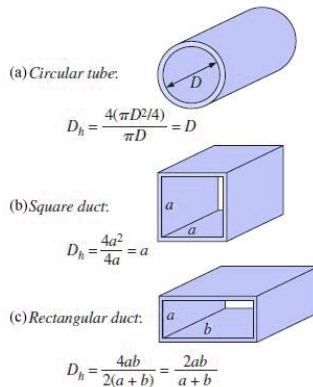
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan serta dilengkapi pula dengan referensi mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang mendukung.

2.1 Sistem Saluran Udara (*Ducting*)

Secara umum *ducting* merupakan suatu benda yang berbentuk *square*/ kotak dan spiral atau *round* yang berfungsi sebagai media untuk mendistribusikan fluida yang bersifat udara dari suatu tempat ke tempat lain. *Ducting* juga bisa diartikan suatu benda kotak atau spiral yang berfungsi untuk mensirkulasikan sejumlah udara dari suatu ruangan dengan bantuan *fan unit/ blower*, serta AC *central* dengan menggunakan sistem resirkulasi (*return air*).



Gambar 2.1 Macam – macam bentuk *ducting* (a) *Circular Tube*
(b) *Square Duct* (c) *Rectangular Duct*

Selain itu, terdapat berbagai macam fungsi *ducting* dalam penggunaannya dalam kehidupan sehari – hari, antara lain sebagai *supply* udara dingin ke ruang yang dikondisikan (*supply air*), *ducting* yang berfungsi sebagai *supply* dari udara luar (*fresh air*)

dan ada pula *ducting* yang berfungsi untuk membuang udara dari dalam ke luar (*exhaust air*) secara fisik bentuk *ducting supply air* ini berinsulasi karena untuk mempertahankan udara dingin yang didistribusikan tidak terbuang, sedangkan untuk *ducting fresh air* dan *exhaust air* ini tidak menggunakan insulasi, lapisan dari insulasi ini antara lain : *Glasswool*, *Alumunium Foil*, *Spindle pin*/ pengikat/ tali/ *flinkote*. Sedangkan untuk lapisan *ducting* didekat unit *AC Indoor* (untuk sistem *AC Split*) atau Unit *Air Handling Unit* (sistem *central*) biasanya bagian dalamnya menggunakan *Glasswool* dan *glassclotch*, untuk meredam bunyi bising dari unit. Bahan yang digunakan untuk *ducting* itu sendiri bermacam-macam, ada yang terbuat dari bahan *PVC*, *mild steel*, BJLS (baja lapis seng), *PU (Polyurethane)*, untuk *ducting* yang terbuat dari bahan *PU* tidak perlu menggunakan lapisan luar karena lapisannya sudah tersedia dari pabrikan hanya untuk lapisan dalamnya saja yang terdapat didekat unit menggunakan *glassclotch*.

2.2 Bilangan Reynolds

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tidak berdimensi yang dapat mengklasifikasikan jenis aliran fluida. Pada umumnya jenis aliran fluida dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu laminar, transisi, dan turbulen. Dalam aplikasinya, aliran transisi jarang digunakan. Aliran fluida lebih sering diklasifikasikan menjadi 2 jenis aliran saja (laminar dan turbulen). Secara perumusan, bilangan *Reynolds* dapat ditulis sebagai berikut:

$$Re = \frac{\bar{V}.D}{\nu} \quad (2.1)$$

Dimana : \bar{V} = Kecepatan fluida yang mengalir $\left(\frac{m}{s}\right)$
 D = Diameter dalam pipa (m)
 ν = Kekentalan kinematik fluida $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

Untuk fluida yang melewati pipa yang tidak berbentuk *circular*, maka diameternya menggunakan diameter hidrolis (D_h), dimana D_h dihitung menggunakan rumus:

$$Dh = \frac{4A}{P} \quad (2.2)$$

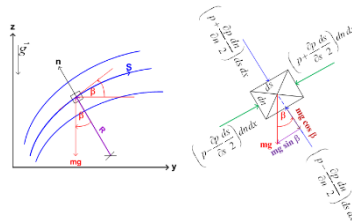
Dimana : D_h = Diameter hidrolis (m)
 A = Luas penampang (m^2)
 P = Keliling penampang (m)

2.3 Persamaan Euler Dalam Koordinat *Streamline*

Pada sebuah aliran tunak, aliran fluida di sepanjang *streamline* setiap partikel fluida yang berurutan melewati titik tertentu akan mengikuti lintasan yang sama. Dalam aliran tunak sebuah partikel fluida akan bergerak di sepanjang *streamline* dikarenakan untuk *steady flow*, *pathlines* dan *streamline* berlangsung dengan bersamaan. Dari persamaan Euler dibangun persamaan gerak yang dinyatakan dalam koordinat *streamline* untuk *inviscid flow*.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p \quad (2.3)$$

Untuk memperjelas, dapat dilihat aliran pada bidang yz seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Persamaan gerak dituliskan dalam koordinat s (jarak disepanjang *streamline*) dan juga koordinat n (jarak normal terhadap *streamline*). Tekanan di pusat dari element adalah p .



Gambar 2.2 Gerakan partikel fluida di sepanjang *streamline*
(Fox dan Mc. Donald, 8th edition)

Untuk *steady flow* dan mengabaikan *body forces*, persamaan Euler di sepanjang *streamline* ke arah s dinyatakan sebagai berikut,

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = -V \frac{\partial V}{\partial s} \quad (2.4)$$

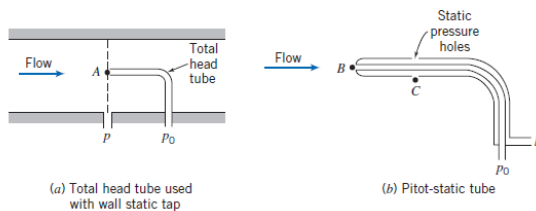
persamaan (2.4) tersebut menunjukkan hubungan antara kecepatan dengan tekanan, yang mana apabila terjadi penurunan kecepatan maka terjadi peningkatan tekanan, begitu pula sebaliknya. Hal ini sangat sesuai dengan hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa apabila suatu aliran ideal tanpa gesekan dijumlahkan antara komponen tekanan dan kecepatannya pada setiap titik, maka hasilnya adalah sama. Untuk persamaan gerak ke arah n dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \quad (2.5)$$

persamaan (2.5) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan tekanan ke arah luar dari lengkungan *streamline*. Hal ini dapat terjadi dikarenakan gaya yang bekerja pada partikel hanyalah gaya dari tekanan, medan tekanan menyebabkan percepatan sentripetal. Pada daerah *streamline* yang lurus atau radius kelengkungannya (R) tak terhingga maka tidak ada perbedaan antara tekanan normal terhadap *streamline* lurus.

2.4 Tekanan Statis, Tekanan Stagnasi dan Tekanan Dinamis

Tekanan yang diukur melalui suatu alat yang bergerak bersama aliran dengan kecepatan relatif alat ukur terhadap aliran dinamakan tekanan statis. Pengukuran tekanan statis biasanya menggunakan *wall pressure tap*, kecepatan aliran fluida pada permukaan dinding akan bernilai nol karena tidak ada fluida yang ideal (*non viscous*).



Gambar 2.3 Pengukuran Tekanan Stagnasi dan Tekanan Statis
(Fox dan Mc. Donald, 8th edition)

Tekanan stagnasi dapat didefinisikan sebagai tekanan yang diukur pada daerah dimana aliran fluida diperlambat hingga nol dengan proses perlambatan tanpa gesekan. Persamaan Bernoulli dapat diterapkan pada aliran kompresibel untuk sepanjang suatu *streamline*, yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{P}{\rho} + \frac{U^2}{2} + gz = \text{konstan} \quad (2.6)$$

Pengukuran tekanan stagnasi (P_o) dimana kecepatannya (U_o) adalah nol dan $z_o = z$ maka persamaan Bernoulli di atas menjadi :

$$P_o = P + \frac{U^2}{2} \rho \quad (2.7)$$

Tekanan dinamis merupakan selisih antara tekanan stagnasi dengan tekanan statis.

$$P_o - P = \frac{1}{2} \rho U^2 \quad (2.8)$$

Dimana:

- P : Tekanan statis
- P_o : Tekanan stagnasi
- ρ : Densitas fluida
- U : Kecepatan aliran fluida
- U_o : Kecepatan stagnasi
- g : Percepatan gravitasi bumi
- z : Ketinggian

2.5 Pressure Coefficient (C_p)

Dalam sistem *ducting*, sistem perpipaan, atau model pengujian lainnya, sering kali dilakukan modifikasi parameter, $\Delta p / \rho V^2$, dengan memasukkan faktor $\frac{1}{2}$ untuk membuat *denominator* menyediakan tekanan dinamik. Maka terbentuklah rasio berikut,

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (2.9)$$

dimana Δp adalah tekanan lokal dikurangi dengan tekanan *freestream*, ρ dan V adalah properti dari aliran *freestream*. Rasio ini merupakan rasio antara gaya tekanan terhadap gaya inersia, dan rasio ini disebut dengan *Euler number*. *Euler number* sering disebut dengan *pressure coefficient*, C_p . Dalam pengujian suatu model, *pressure coefficient* secara tidak langsung digunakan untuk menyatakan besarnya *pressure drop*. *Pressure coefficient* pada *elbow* didefinisikan sebagai selisih antara tekanan statis pada dinding dengan tekanan statis referensi dibagi dengan dinamis yang diukur pada *inlet*.

2.6 Head Loss

Head loss merupakan suatu fenomena rugi– rugi aliran di dalam sistem pemipaan. Rugi–rugi aliran selalu terjadi pada sistem pemipaan dengan menggunakan berbagai macam fluida, seperti fluida cair dan gas. Pada umumnya, rugi aliran yang terbesar terjadi pada fluida cair, hal ini dikarenakan sifat molekulnya yang padat dibandingkan gas dan memiliki gesekan lebih besar terhadap media yang dilaluinya, terutama jika koefisien gesek media yang dilalui itu lebih besar, maka gesekan yang terjadi pun akan semakin besar. *Head losses* sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem pemipaan, karena *head losses* dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida. Salah satu penyebab *head losses* adalah konstruksi desain dari sistem pemipaan tersebut. Jika konstruksi memiliki percabangan yang lebih banyak maka akan memperbesar rugi alirannya, selain itu aliran yang semula dalam keadaan laminar pada saat melalui pipa lurus yang koefisien geseknya besar akan berubah menjadi aliran turbulen. Kondisi aliran turbulen inilah yang dapat merugikan dalam sistem pemipaan tersebut, seperti akan menimbulkan getaran dan juga pengelupasan dinding pipa. Selain itu akibat yang paling mendasar dengan adanya rugi-rugi aliran (*head losses*) ialah dapat menyebabkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan aliran fluida yang berdampak meningkatnya penggunaan listrik pada mesin penggerak fluida seperti pompa.

2.6.1 Head Loss Mayor

Head losses mayor (rugi mayor) adalah besar nilai kehilangan energi yang diakibatkan oleh gesekan antara fluida dengan dinding pipa lurus yang mempunyai luas penampang yang tetap. Untuk menghitung *head loss mayor* dibedakan menurut jenis aliran fluidanya. *Head loss* yang terjadi pada aliran *fully developed* yang melewati pipa lurus horizontal dinyatakan sebagai kerugian tekanan aliran fluida *fully developed* melalui pipa penampang konstan.

a. Laminar

Untuk aliran laminar, berkembang penuh pada pipa horisontal, maka penurunan tekanan dapat dihitung secara analitis, yaitu:

$$\Delta p = \frac{128 \mu L Q}{\pi D^4} = 32 \frac{L}{D} \frac{\mu \bar{V}}{D} \quad (2.10)$$

Substitusi dari persamaan , didapatkan:

$$h_l = 32 \frac{L}{D} \frac{\mu \bar{V}}{\rho D} = \left(\frac{64}{Re} \right) \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (2.11)$$

Dimana: h_{lm} = *head losses minor* (m)

Dan koefisien gesekan (f) untuk aliran laminar adalah:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.12)$$

b. Turbulen

Head losses mayor untuk aliran turbulen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.13)$$

Dimana f (koefisien gesek) didapat dari hasil eksperimen dan dipengaruhi oleh bilangan *Reynolds* (Re) dan kekasaran permukaan relatif $\left(\frac{L}{D}\right)$.

2.6.2 Head Loss Minor

Head losses minor (rugi minor) adalah besar nilai kehilangan energi aliran fluida di dalam pipa yang disebabkan oleh perubahan luas penampang jalan aliran, *entrance*, *fitting*, dan lain sebagainya. Rugi minor adalah rugi yang disebabkan gangguan lokal seperti pada perubahan penampang, adanya katub, belokan *elbow* dan sebagainya. Kerugian ini dapat diketahui dari persamaan:

$$h_{lm} = K \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad (2.14)$$

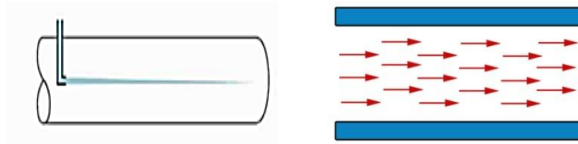
Dimana : h_{lm} = head losses minor (m)

2.7 Karakteristik Aliran Fluida di Dalam Pipa

Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Pada instalasi sistem *ducting* ataupun perpipaan, *elbow* merupakan bagian yang menyebabkan terjadinya *pressure drop* yang cukup besar. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan arah aliran fluida yang dapat menyebabkan terjadinya separasi dan *secondary flow*.

2.7.1 Aliran Laminar

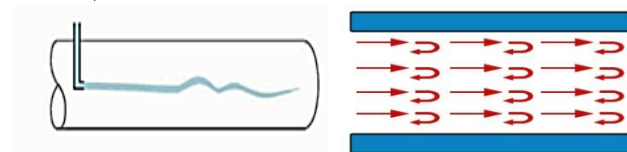
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan *Reynolds* kurang dari 2300 ($Re < 2300$).



Gambar 2.4 Aliran Laminar (*Munson et al, 2002*)

2.7.2 Aliran Transisi

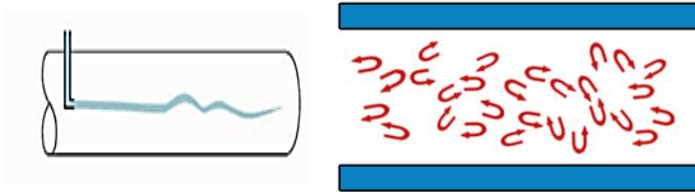
Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldnya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$).



Gambar 2.5 Aliran Transisi (*Munson et al, 2002*)

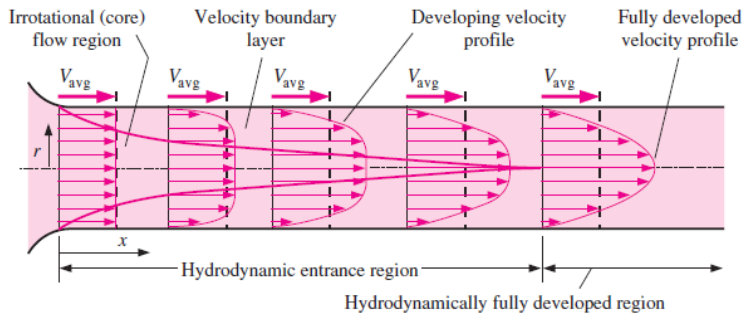
2.7.3 Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan Reynoldnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).



Gambar 2.6 Aliran Turbulen (*Munson et al, 2002*)

2.7.4 Aliran Berkembang Penuh (*Fully Developed Flow*)



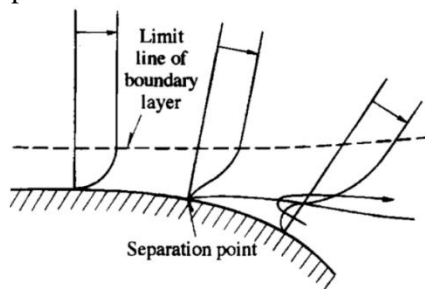
Gambar 2.7 Profil kecepatan untuk aliran di dalam saluran
(Yunus A.Cengel & John M.Cimbala : *Fluid Mechanics Fundamental and Application*, 2006)

Fully Developed Flow merupakan suatu fenomena aliran dimana terjadinya *boundary layer* maksimum atau profil kecepatan yang tetap, tidak mengalami perubahan. Profil ini dipengaruhi oleh viskositas yang berakibat pada terjadinya gaya geser antara profil kecepatan. Fenomena aliran seperti ini akan terjadi ketika aliran yang mengalir tidak mengalami gangguan, seperti *fitting*, instalasi, dan sebagainya. Setiap aliran baik aliran laminar maupun aliran turbulen mempunyai besaran yang

berbeda dimana untuk aliran laminar bernilai konstan dari titik awal, hal tersebut terjadi karena pengaruh kecepatan fluida sehingga *fully developed flow* lebih cepat, berbeda dengan aliran turbulen dimana *fully developed flow* disebabkan oleh adanya aliran acak sehingga *fully developed flow* terjadi lebih panjang.

2.7.5 Separation Loss pada Elbow

Pada gambar 2.8 merupakan visualisasi terjadinya separasi aliran yang dapat menimbulkan terjadinya kerugian *pressure drop*. Hal tersebut disebabkan oleh adanya hubungan antara aliran dengan dinding *elbow* sehingga terjadi *friction loss* yang dapat mengurangi momentum dari aliran. Momentum aliran yang semakin kecil akan menambah ketidakmampuan aliran melawan *adverse pressure gradient* sehingga juga akan mengurangi kecepatan aliran dan terbentuknya *vortex* di sekitar dinding *elbow*. Terbentuknya *vortex* tersebut akan berakibat pada mengecilnya luasan penampang aliran utama yang menyebabkan aliran mengalami percepatan dan menyebabkan terjadinya *pressure drop*.

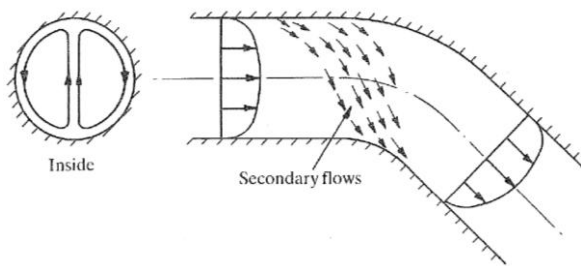


Gambar 2.8 Terjadinya separasi aliran pada *boundary layer* (Nakayama & Boucher, 1998)

2.7.6 Secondary Flow pada Elbow

Secondary flow terjadi karena adanya perbedaan distribusi tekanan yang terjadi pada sisi *inner* dan *outer wall*, tekanan statis akan semakin besar pada sisi *outer wall*. Oleh karena itu, aliran yang melewati elbow tidak sepenuhnya mengikuti aliran utama,

sehingga terjadilah aliran sekunder (*secondary flow*). Pada *square elbow* memiliki ciri yang berbeda dibandingkan dengan *circular elbow*, yaitu terjadinya *secondary flow* pada sisi sudut. Pada *circular elbow*, tidak dijumpai fenomena *boundary layer* pada sisi samping dan bawah, namun pada *square elbow* hal tersebut dapat dijumpai. Interaksi *boundary layer* yang berkembang pada sisi samping dan bawah tersebut yang menyebabkan terjadinya *secondary flow*.

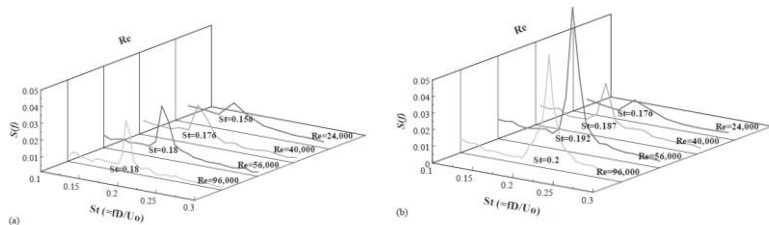


Gambar 2.9 Terjadinya *secondary flow* pada belokan
(Miller, 1990)

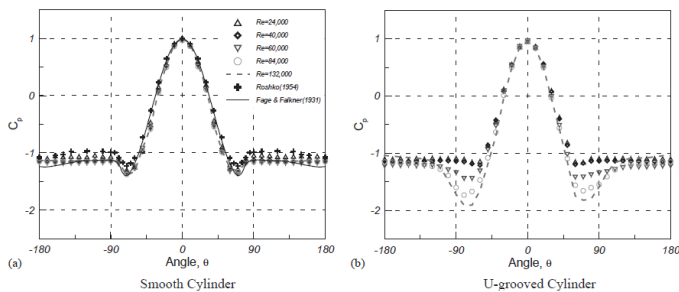
2.8 Penelitian Terdahulu

H.C Lim & S.J Lee (2003) melakukan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct*. Simulasi ini menggunakan model PIV dilakukan pada $Re = 8000-140000$ yang memiliki ukuran geometri $0,72 \times 0,6 \times 6$ m. Variasi yang dilakukan pada bentuk permukaan pengganggu, dengan pengganggu pertama berbentuk silinder ($D=60\text{mm}$) dan pengganggu kedua berupa silinder U-grooved ($D=60\text{mm}$). Hasil penelitian ditunjukkan dengan PSD *distribution* yang dihitung di sisi *downstream* pada $Re = 24000, 40000, 56000$ dan 96000 , dimana frekuensi *vortex shedding* dinyatakan dalam bentuk *Strouhal Number* sebagai parameter tak berdimensi. Ketika jumlah *Reynolds Number* meningkat maka frekuensi *vortex shedding* akan meningkat. Pada

silinder *U-grooved* menunjukkan lebih efektif menekan pembentukan *vortex* dibanding silinder biasa seperti terlihat pada gambar 2.10



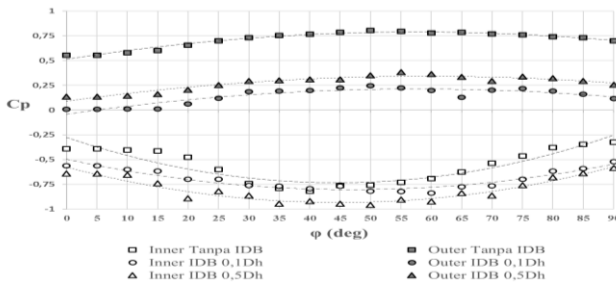
Gambar 2.10 Perbandingan PSD Distribution a) Smooth Cylinder b) U-grooved Cylinder (H.C Lim & S.J Lee, 2003)



Gambar 2.11 Perbandingan nilai C_p pada smooth cylinder dan U-grooved cylinder (H.C Lim & S.J Lee, 2003)

Dari gambar 2.11 dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai *Reynolds number* maka daerah separasi bergeser ke kanan dan tekanan lokal menurun. Pada silinder U-grooved yang memiliki kekasaran permukaan lebih besar mampu menurunkan nilai pressure drop dan koefisien drag pada nilai *reynolds number* yang tinggi. Selain itu adanya kekasaran permukaan yang lebih tinggi pada silinder U-grooved mampu mengurangi gaya gesek dan menunda terjadinya separasi.

Aqfha (2016) Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan model saluran berpenampang bujursangkar (*square duct*) dengan $D_h = 125 \text{ mm}$ yang terdiri dari : *upstream duct (straight duct)* dengan panjang $7D_h$, *Inlet Disturbance Body* dengan $D = 12,5 \text{ mm}$, *elbow 90°* , dan dilengkapi *downstream duct (straight duct)* dengan panjang $15D_h$, serta *induced draft fan*. Pengukuran dalam penelitian ini menggunakan *pitot static tube*, *inclined manometer*, dan *pressure transducer*. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak $0,1D_h$ sampai $0,5D_h$ dengan Re_{D_h} sebesar $8,74 \times 10^4$ untuk mendapatkan profil kecepatan sepanjang *downstream duct*, *pressure drop* antara *downstream duct* dan *upstream duct*, serta *pressure drop elbow 90°* antara *inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90°* berupa nilai *pressure coefficient*, koefisien *loss minor elbow 90°* pada variasi nilai Re_{D_h} sebesar $3,94 \times 10^4 < Re_{D_h} < 13,5 \times 10^4$.



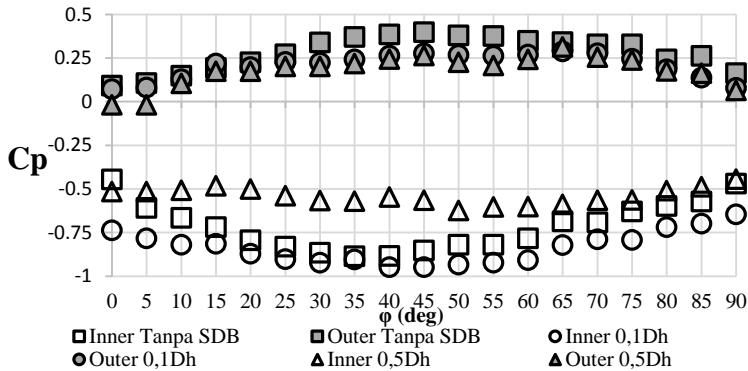
Gambar 2.12 *Pressure Coefficient* pada *Square Elbow 90°* dengan Variasi Tanpa *Inlet Disturbance Body*, Jarak $0,1D_h$ dan $0,5D_h$ menggunakan *Reynolds Number $8,74 \times 10^4$*

Hasil studi eksperimen ini diperoleh bahwa penempatan jarak *inlet disturbance body* efektif untuk proses *recovery* aliran dan menanggulangi timbulnya *secondary flow*. Penempatan *inlet disturbance body* pada saluran dengan jarak $0,1D_h$ merupakan jarak paling efektif untuk meningkatkan intensitas turbulensi dan menurunkan *pressure drop*, dimana pada sisi *inner outlet elbow 90°* memiliki intensitas turbulensi tertinggi yaitu sebesar 30,92% dan nilai intensitas turbulensi terendah terjadi pada saluran yang menggunakan *inlet disturbance body* dengan jarak $0,4D_h$ yaitu

sebesar 8,07% serta memiliki *pressure drop* terendah dengan persentase kenaikan *pressure drop* sebesar 23,57%, sedangkan pada jarak *inlet disturbance body* $0,5D_h$ memiliki *pressure drop* tertinggi dengan persentase kenaikan *pressure drop* sebesar 17,09%. Secara fungsi Reynolds Number, jarak *inlet disturbance body* $0,1D_h$ memiliki nilai koefisien *losses elbow 90°* paling rendah dengan persentase kenaikan nilai koefisien *losses elbow 90°* sebesar 12,61%, sedangkan pada variasi tanpa menggunakan *inlet disturbance body* memiliki nilai koefisien *losses elbow 90°* paling tinggi dengan persentase kenaikan nilai koefisien *losses elbow 90°* sebesar 9,89%. Perbedaan nilai *Pressure Coefficient* (ΔC_p) yang cukup signifikan pada *elbow 90°* dengan saluran tanpa *inlet disturbance body* dan menggunakan *inlet disturbance body*, dimana didapatkan bahwa ΔC_p pada jarak *inlet disturbance body* $0,1D_h$ terlihat lebih kecil dibandingkan pada jarak $0,5D_h$ maupun tanpa menggunakan *inlet disturbance body*.

Rizky (2017) Penelitian ini menggunakan *square duct* dengan diameter hidrolis (D_h) sebesar 125 mm. Saluran udara terdiri dari *upstream duct* sepanjang $7D_h$, SDB dengan diameter sebesar 12,5 mm, *elbow 90°* dengan radius kelengkungan (R/D_h) sebesar 2, dan *downstream duct* sepanjang $15D_h$. SDB diletakkan pada gap (g/d) tetap sebesar 0,2 dari sisi *inner* dengan variasi jarak (l/D_h) sebesar 0,1 sampai 0,5 dari *inlet elbow 90°*. Untuk mendapatkan profil kecepatan *downstream duct* bidang vertikal maupun horizontal, *pressure coefficient* (C_p), *pressure drop square duct*, dan *minor loss coefficient* (K) *elbow 90°* pada ReD_h

sebesar $3,97 \times 10^4 \leq Re_{Dh} \leq 1,39 \times 10^5$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 17 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s).



Gambar 2.13 Distribusi *Pressure Coefficient* pada *Square Elbow* 90° dengan variasi jarak peletakan *square disturbance body* terhadap $Re_{Dh} 8,74 \times 10^4$

Hasil penelitian ini diperoleh bahwa penempatan SDB efektif menurunkan pressure drop dan mengurangi blockage area. Penempatan SDB pada saluran dengan jarak $l = 0,5D_h$ merupakan jarak paling optimal untuk meningkatkan intensitas turbulensi dan menurunkan pressure drop, dimana penurunan nilai rata-rata pressure drop sebesar 13,2%. Pada bidang horizontal dan vertikal menunjukkan bahwa dengan penambahan SDB, profil kecepatan pada section 1-6 memiliki bentuk yang berbeda dibanding tanpa SDB, sementara pada section 12-14 semua variasi menunjukkan bentuk profil kecepatan yang mirip. Pada sisi *inner*, terjadi perlambatan aliran karena adanya *backflow* yang ditimbulkan oleh separasi aliran. Penambahan SDB dapat menyebabkan penundaan separasi aliran karena *shear layer* yang dihasilkan SDB memberikan momentum aliran yang lebih kuat untuk melawan *adverse pressure*.

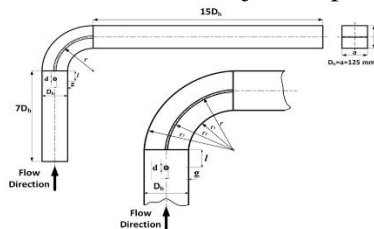
BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas metode penelitian yang digunakan, yaitu metode penelitian secara eksperimen untuk menganalisis karakteristik aliran dalam *square duct* dan *square elbow 90°* dengan variasi jarak peletakan *Threaded Disturbance Body* yang terletak pada daerah *upstream* sebelum *inlet elbow 90°*, $l/D_h = 0,1$ sampai $0,5$ dan $0,9 D_h$. Studi eksperimen ini menggunakan sebuah pengganggu berupa *Threaded Disturbance Body* dengan panjang 125 mm dan tipe ulir M6. *Reynolds Number* yg digunakan untuk mendapatkan nilai *pressure drop* dan koefisien *loss minor elbow 90°* adalah $1,59 \times 10^4$ sampai $15,9 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 20 m/s dengan kenaikan kecepatan 2 m/s), untuk mendapatkan nilai *Pressure Coefficient* pada *elbow 90°* adalah $3,17 \times 10^4$, $9,52 \times 10^4$, dan $1,59 \times 10^5$, sedangkan untuk mendapatkan profil kecepatan digunakan kecepatan 12 m/s dengan *Reynolds Number* $9,52 \times 10^4$.

3.1 Skema Penelitian

Instalasi penelitian berupa benda uji (*test section*) dan peralatan pendukung seperti *honey comb*, *square duct*, *square elbow 90°*, *centrifugal fan* dan *connector*. *Threaded disturbance body* dipasang pada *upstream straight duct* dengan jarak $l = 0,1 D_h$ sampai $0,5 D_h$ dan $0,9 D_h$ sebelum *inlet elbow 90°*. Skema instalasi penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema instalasi penelitian dari peletakan *Threaded Disturbance Body*

3.2 Peralatan Pendukung

3.2.1 *Square Ducting*

Penelitian menggunakan *square ducting* dan *square elbow 90°* ini dimaksudkan untuk dapat menguji benda dalam skala model. Hal ini disebabkan pengukuran dengan skala sebenarnya cukup sulit dan membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Oleh sebab itu, dibuatlah *square ducting* dan *square elbow 90°* dengan pembuatan kondisi-kondisi yang mendekati kenyataan, sehingga hasilnya cukup akurat dan memadai. *Square ducting* yang digunakan dalam percobaan ini adalah jenis *open circuit*, dimana udara yang dialirkan dalam *ducting* langsung bebas dilepas ke udara bebas setelah melalui *work section*.



Gambar 3.2 Model uji penelitian

- Keterangan :
1. *Nozzle*
 2. *Upstream Straight Duct*
 3. *Threaded Disturbance Body*
 4. *Square Elbow 90°*
 5. *Downstream Straight Duct*
 6. *Centrifugal Fan*

Spesifikasi *Square Ducting* :

- Bentuk Penampang : *Square & elbow 90°*
- Bahan : *Acrylic*
- Tebal akrilik : 8 mm
- Tebal *guide vane* : 3 mm
- L_m (panjang total *garis tengah streamline elbow 90°*): 2937.5 mm
- l_i (panjang total *inner searah streamline elbow 90°*) : 2875 mm
- l_o (panjang total *outer searah streamline elbow 90°*) : 3000 mm
- L_i (*upstream straight duct*) : 875 mm
- L_o (*downstream straight duct*) : 1875 mm
- R (*centerline elbow 90° radius*) : 187.5 mm
- r_i (*inner radius*) : 125 mm
- r_o (*outer radius*) : 250 mm
- D_h (diameter hidrolik) : 125 mm
- l (jarak TDB dari *inlet elbow 90°*) : 0,1-0,5 dan 0,9 D_h

3.2.2. *Centrifugal Fan*

Pada penelitian ini digunakan 1 buah *centrifugal fan* (gambar 3.3) dengan spesifikasi sebagai berikut:

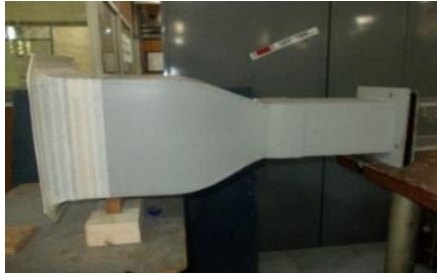


Gambar 3.3 *Centrifugal Fan*

- Merk : ElexMax Three-Phase Asynchronous Motor
- Type : 71M4 – 4 B3
- No : 0221
- Voltage : 220 / 380 Voltage
- Frekuensi: 50 Hz

- Daya : 0,75 KW
- Putaran : 1350 RPM
- Berat : 8,7 kg

3.2.3. *Honey Comb, Screen dan Nozzle*



Gambar 3.4 *Honey Comb, Screen dan Nozzle*

Nozzle berfungsi untuk menambah kecepatan aliran sebelum memasuki *test suction*. Didalam *nozzle* terdapat *screen* dan *honeycomb* yang berfungsi untuk menjadikan aliran mendekati uniform dan mengurangi turbulensi aliran ketika memasuki instalasi *test suction*.

3.2.4. *Threaded Disturbance Body*

Dalam eksperimen ini, instalasi saluran udara dipasang bodi pengganggu berupa *threaded disturbance body* yang terletak pada jarak $l/D_h = 0,1$ sampai $0,5$ dan $0,9$ D_h sebelum inlet *elbow 90°* dengan panjang D_h 125 mm dan tipe ulir M6.



Gambar 3.5 *Threaded Disturbance Body*

3.2.5 Elbow 90° dengan Single Guide Vane

Pada eksperimen ini terdapat *Elbow 90°* berpenampang bujursangkar yang di dalamnya terdapat *Single Guide Vane*. *Elbow 90°* untuk membelokkan aliran setelah melewati *upstream duct*.



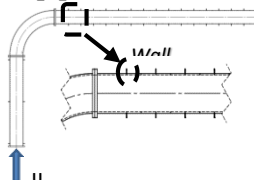
Gambar 3.6 *Elbow 90° dengan Single Guide Vane*

3.2.6. Alat Ukur

Pada spesimen ini dibutuhkan beberapa alat ukur untuk mendapatkan tekanan statis dan tekanan stagnasi, diantaranya adalah *wall-pressure tap*, *pitot static tube*, *tranducer* dan *manometer inclined*.

1. *Wall-pressure tap*

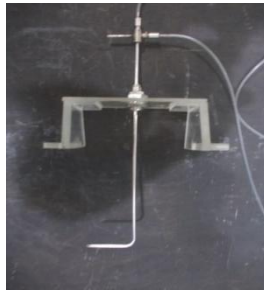
Wall-pressure tap yaitu lubang-lubang kecil berdiameter 1 mm yang terhubung pada manometer atau tranducer tekanan serta dipasang sepanjang kontur permukaan benda uji maupun saluran yang searah aliran dan tegak lurus terhadap permukaan.



Gambar 3.7 Skema Pemasangan *Wall-pressure tap*

2. *Pitot Tube*

Alat ini berfungsi untuk mengukur besarnya tekanan statis sekaligus tekanan stagnasi aliran fluida yang terdapat pada saluran maupun yang terletak dibelakang benda uji. Pergeseran titik pengukuran secara horizontal pada setiap *cross section* yang sama dilakukan secara manual dengan skala pengukuran tertentu.

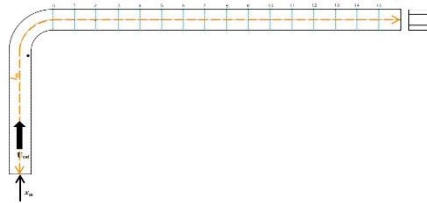


Gambar 3.8 *Pitot Tube*

Posisi pemasangan *stagnation pitot tube* dan *wall pressure tap* pada benda uji secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.8. *Wall pressure tap* dipasang sepanjang *downstream straight duct* mulai dari *outlet elbow 90°* pada setiap dinding *ducting* yang disusun secara paralel pada masing-masing *test section* yang berjarak 125 mm. Titik pengukuran tekanan statis dimulai pada titik yang berjarak 1250 mm dari *inlet upstream* sampai pada titik yang berjarak 3250 mm dari *inlet upstream*. Sedangkan *stagnation pitot tube* dipasang pada *centerline* tepat sejajar dengan *wall pressure tap*, dimana jarak antar *tap* adalah 125 mm.

Jumlah *wall pressure tap* disesuaikan dengan kondisi tekanan pada setiap *section*. Pada bagian *downstream straight duct* dipasang 15 *wall pressure tap*. Untuk mengetahui profil kecepatan aliran, maka *test section* dibagi menjadi 15 *section* yang akan dijadikan posisi peletakan

pitot tube. Pada gambar 3.9 ditunjukkan beberapa lokasi yang akan diteliti untuk mendapatkan profil kecepatan.



Gambar 3.9 Lokasi perhitungan profil kecepatan

3. Transducer Tekanan dan Data Aquisisi

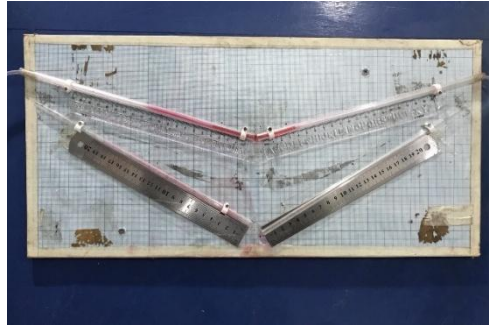
Berikut spesifikasi *Transducer* yang akan digunakan dalam percobaan ini :

1. Untuk mengukur profil kecepatan
 - Model : PX653 - 01D5L
 - Range : $\pm 1''$ WC
 - Akurasi : 0.25 % FS (Fullscale)
 - Output : 1 – 5 VDC
 - Excitation : 12 – 36 VDC
 - Ser.no. : X14500102
2. Untuk mengukur *pressure drop*
 - Model : PX653 - 03D5V
 - Range : $\pm 3''$ WC
 - Akurasi : 0.25 % FS (Fullscale)
 - Output : 1 – 5 VDC
 - Excitation : 12 – 36 VDC
 - Ser.no. : X11450113

4. Inclined manometer (Manometer V) dan Mistar

Manometer digunakan sebagai pembaca tekanan yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube*. *Manometer* yang digunakan mempunyai kemiringan sebesar 15° yang bertujuan untuk mempermudah pembacaan Δh . *Manometer*

digunakan sebagai pembaca tekanan statis dan stagnasi yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Inclined Manometer*

Spesifikasi manometer yang digunakan sebagai berikut:

- Skala minimum : 1 mm
- Fluida kerja : *Kerosene* ($SG_{\text{kerosene}} = 0,827$)
- Kemiringan : 15°

3.3 Analisa Dimensi Parameter - Parameter yang Dianalisa

Analisa dimensi diperlukan untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu eksperimen. Hubungan antara parameter yang saling mempengaruhi ditunjukkan dalam bentuk parameter-parameter tanpa dimensi. Metode analisa ini dikenal dengan *Buckingham Pi Theorem*. Dalam skema penelitian pada gambar 3.1. Parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran sepanjang *downstream straight duct*.

Δp : perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m^2)

ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)

μ : viskositas absolut fluida (kg/(m.s))

U_{ref} : kecepatan *freestream* di *inlet upstream* (m/s)

u : kecepatan lokal (m/s)

D_h : diameter hidrolis saluran (m)

l : jarak *threaded disturbance* dari *inlet elbow* 90°

R	: <i>centerline elbow 90° radius</i>
g	: <i>gap cylinder disturbance</i> dari dinding <i>inner</i>
y	: aliran searah sumbu koordinat y
z	: aliran searah sumbu koordinat z
x	: aliran searah sumbu koordinat x

3.3.1 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk *Pressure Drop* pada *Square Ducting*

Pressure drop pada *square ducting* diduga dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga perbedaan tekanan dapat dituliskan sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta p = f(\rho, \mu, U_{ref}, D_h, d, l, R, g, x, y, z,) \quad (3.1)$$

dimana ΔP adalah perbedaan tekanan (N/m^2)

Menggunakan *Buckingham Pi-theorema* dengan parameter ρ , U_{ref} dan D_h diperoleh 9 grup tak dimensi yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho U_{ref}^2}$: koefisien tekanan
2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$: bilangan *Reynolds*
3. $\pi_3 = \frac{d}{D_h}$: perbandingan diameter *disturbance body* dengan diameter hidrolik
4. $\pi_4 = \frac{l}{D_h}$: perbandingan jarak *disturbance* dari *inlet elbow 90°* dengan diameter hidrolik
5. $\pi_5 = \frac{R}{D_h}$: perbandingan *mean radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
6. $\pi_6 = \frac{g}{D_h}$: perbandingan *gap cylinder disturbance* dari dinding sisi

- inner upstream* dengan diameter hidrolik
7. $\pi_7 = \frac{x}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu x* dengan diameter hidrolik
 8. $\pi_8 = \frac{y}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu y* dengan diameter hidrolik
 9. $\pi_9 = \frac{z}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu z* dengan diameter hidrolik

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

- $\Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9)$
(3.2)

- $\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{d}{D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right)$ (3.3)

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah

$$\frac{d}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h} \text{ sehingga } \frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{l}{D_h}\right) \quad (3.4)$$

dan untuk *pressure drop* tak berdimensi ($\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2}$) pada *square ducting* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\Delta p}{\rho U_{ref}^2} = f_2\left(Re_{D_h}, \frac{l}{D_h}\right) \quad (3.5)$$

3.3.2 Analisa Grup Tak Berdimensi untuk kecepatan pada *Square Ducting*

Velocity profile pada *square ducting* diduga dipengaruhi oleh beberapa parameter, sehingga kecepatan dapat dituliskan sebagai fungsi parameter-parameter tersebut. Secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$u = f(\rho, \mu, U_{ref}, D_h, d, l, R, g, x, y, z,) \quad (3.6)$$

dimana u adalah kecepatan lokal (m/s)

Menggunakan Buckingham Pi-theorema dengan parameter ρ, U_{ref} dan D_h diperoleh 9 grup tak dimensi yaitu :

1. $\pi_1 = \frac{u}{U_{ref}}$: kecepatan tak berdimensi
2. $\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$: bilangan *Reynolds*
3. $\pi_3 = \frac{d}{D_h}$: perbandingan diameter *disturbance body* dengan diameter hidrolik
4. $\pi_4 = \frac{l}{D_h}$: perbandingan jarak *disturbance* dari *inlet elbow 90°* dengan diameter hidrolik
5. $\pi_5 = \frac{R}{D_h}$: perbandingan *mean radius elbow 90°* dengan diameter hidrolik
6. $\pi_6 = \frac{g}{D_h}$: perbandingan *gap disturbance* dari dinding sisi *inner upstream* dengan diameter hidrolik
7. $\pi_7 = \frac{x}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu x* dengan diameter hidrolik
8. $\pi_8 = \frac{y}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu y* dengan diameter hidrolik

9. $\pi_9 = \frac{z}{D_h}$: perbandingan *arah aliran sumbu z* dengan diameter hidrolik

Hubungan antar grup tak berdimensi adalah sebagai berikut :

$$\bullet \Pi_1 = f(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9) \quad (3.7)$$

$$\bullet \frac{u}{u_{ref}} = f\left(\frac{\mu}{\rho u_{ref} D_h}, \frac{d}{D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{x}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}\right) \quad (3.8)$$

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tetap adalah $\frac{d}{D_h}, \frac{R}{D_h}, \frac{g}{D_h}, \frac{y}{D_h}, \frac{z}{D_h}$ sehingga

$$\frac{u}{u_{ref}} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho u_{ref} D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{x}{D_h}\right) \quad (3.9)$$

dan untuk kecepatan tak berdimensi $\left(\frac{u}{u_{ref}}\right)$ pada *square ducting* adalah sebagai berikut :

$$\frac{u}{u_{ref}} = f_2\left(Re_{D_h}, \frac{l}{D_h}, \frac{x}{D_h}\right) \quad (3.10)$$

Untuk menghitung profil kecepatan dengan menggunakan *Reynolds number* konstan yaitu $9,52 \times 10^4$.

3.4 Langkah-Langkah Validasi

Ada beberapa langkah validasi yang perlu dilakukan sebelum pengambilan data, yaitu :

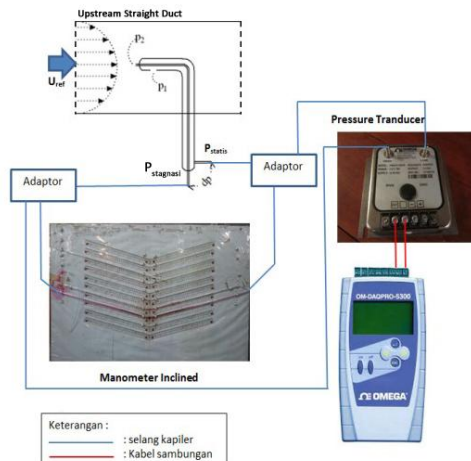
3.4.1 Alat yang digunakan

Peralatan yang dipergunakan pada proses kalibrasi :

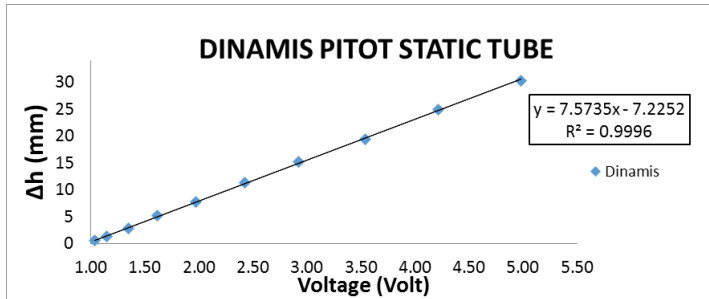
- *Inclined Manometer*
- *Pressure Transducer 1" WC*
- *Data Aquisisi DAQ PRO 5300*
- *Pitot Static Tube*

3.4.2 Validasi Tekanan Dinamis

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* tanpa dipasang *threaded disturbance body*.
2. *Pitot static tube* dipasang pada dinding saluran udara yang tersambung pada *manometer* dan *transducer*.
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Diambil data *manometer* dan *pressure transducer* 1" WC untuk tekanan dinamik.
5. Dari *manometer* didapatkan Δh (mm) dan dari data aqisisi didapatkan *Voltage* (Volt).
6. Data-data tersebut dibuat grafik Δh *manometer* vs *voltage* (Volt) sehingga diketahui juga hubungan dengan sebuah formula.



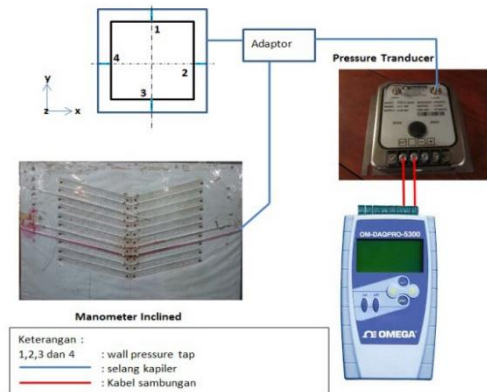
Gambar 3.11 Skema validasi tekanan dinamis
pressure transducer 1" WC



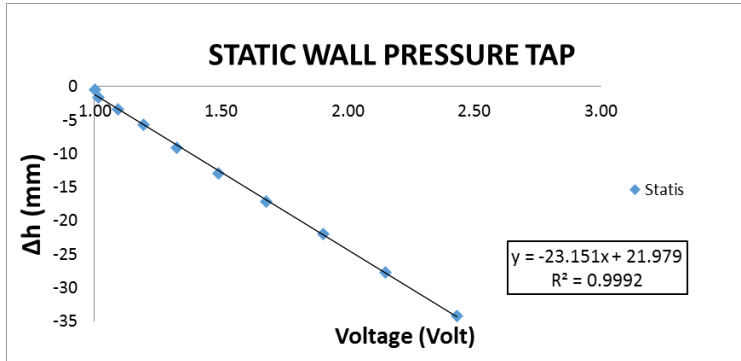
Gambar 3.12 Hasil validasi tekanan dinamis
pressure transducer 1" WC

3.4.3 Validasi Tekanan Statis

1. Pemasangan instalasi untuk keadaan *free stream* tanpa dipasang *threaded disturbance body*.
2. *Wall pressure tap* pada *inlet upstream* dihubungkan pada *manometer* dan *transducer*.
3. Pengaturan *inverter* dari 0 – 50 Hz dengan interval 5 Hz.
4. Diambil data *manometer* dan *pressure transducer 3" WC* untuk tekanan statis dinding.
5. Dari *manometer* didapatkan Δh (mm) dan dari data aqisisi didapatkan *Voltage (Volt)*.
6. Data-data tersebut dibuat grafik Δh *manometer* vs *voltage (Volt)* sehingga diketahui juga hubungan dengan sebuah formula.



Gambar 3.13 Skema validasi tekanan statis *pressure transduser* 3" WC



Gambar 3.14 Hasil validasi tekanan statis *pressure transduser* 3" WC

3.5 Prosedur Pengambilan Data

3.5.1 Pengambilan Data Kuantitatif

Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi tekanan stagnasi dan tekanan statis. Sebelum melakukan pengambilan data maka perlu dilakukan pengukuran suhu ruangan terlebih dahulu. Masing-masing pengukuran memiliki prosedur pengambilan data yang berbeda dan akan dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Prosedur pengukuran tekanan dinamis
 Prosedur pengukuran tekanan dinamis adalah sebagai berikut:
 - a) *Test section* dipersiapkan.
 - b) *Pitot tube* dipasang pada posisi yang ingin diukur.
 - c) *Pitot tube* dihubungkan dengan *pressure transducer* dengan menggunakan selang kapiler.
 - d) Frekuensi inverter diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
 - e) *Voltage* dari *pressure transducer* pada tekanan stagnasi pada dicatat.
 - f) *Blower* dimatikan
 - g) Langkah d sampai f diulangi sampai titik tekanan stagnasi terakhir yang telah ditentukan sebelumnya.
- 2) Prosedur pengukuran tekanan statis adalah sebagai berikut:
 - a) *Test section* dipersiapkan.
 - b) *Wall pressure tap* dihubungkan ke *pressure transducer* dengan selang kapiler.
 - c) Frekuensi inverter diatur untuk mendapatkan putaran *blower* yang sesuai kebutuhan.
 - d) Data *voltage* dari *pressure transducer* dicatat.
 - e) Selang kapiler *pressure transducer* dilepas dari *wall pressure tap* pertama kemudian dihubungkan dengan selang kapiler untuk *wall pressure tap* pada titik *section* selanjutnya.

- f) Langkah c) sampai e) diulangi sampai didapatkan data pada posisi *pressure tap* yang terakhir pada posisi $15D_h$ dari *inlet downstream straight duct*.

3.5.2 Pengolahan Data Kuantitatif

Pengolahan data dilakukan dengan membuat sebuah contoh perhitungan. Beberapa data awal yang diperlukan untuk melakukan proses perhitungan adalah:

- Diameter hidrolis (D_h) : 125 mm
- Panjang *downstream straight duct* : 2070 mm
- Panjang *inlet upstream* sampai *downstream*
 - inner wall* (l_i) : 2973,1 mm
 - Outer wall* (l_o) : 3071,3 mm
- Sudut *inclined manometer* (θ) : 15°
- *Specific Gravity kerosene* ($SG_{kerosene}$) : 0,827
- Percepatan Gravitasi (g) : $9,81 \text{ m/s}^2$
- Temperatur ruangan dianggap konstan (T) : $26,6^\circ\text{C}$
- Massa jenis udara pada $T = 26,6^\circ\text{C}$ (ρ_{ud}) : $1,1698 \text{ kg/m}^3$
- Viskositas kinematis (ν) : $1,844 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- Massa jenis air pada $T = 26,6^\circ\text{C}$ (ρ_{H_2O}) : 996 kg/m^3

1) Perhitungan untuk *Reynolds Number*

Pada eksperimen ini digunakan angka *Reynolds* yang didapat melalui persamaan 3.10 didapatkan kecepatan awal *centrifugal fan* diatur pada *Reynolds Number* $1,59 \times 10^4$.

$$Re_{Dh} = \frac{\rho_{ud} \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} = \frac{U_{ref} \cdot D_h}{\nu} \quad (3.11)$$

dimana:

ρ_{ud} : massa jenis udara pada $26,6^\circ\text{C}$ (kg/m^3)

ν : viskositas kinematis udara pada $T = 26,6^\circ\text{C}$ (m^2/s)

μ : viskositas absolut udara pada $T = 26,6^\circ\text{C}$

U_{ref} : kecepatan freestream pada *inlet upstream* (m/s)

D_h : diameter hidrolis ducting (m)

Re_{Dh} : *Reynolds number*

Fan yang digunakan pada eksperimen ini adalah *centrifugal fan*. Untuk mendapatkan kecepatan awal (U_{ref}) sebesar 12 m/s dilakukan pengaturan frekuensi pada inverter secara manual. Dengan kalibrasi validasi tekanan dinamik pada saluran *upstream straight duct* melalui *inclined manometer* untuk pengukuran nilai Δh . Nilai Δh diukur dari frekuensi 0 Hz sampai 50 Hz. Pengukuran kecepatan aliran masuk menggunakan persamaan 3.11 sebagai berikut:

$$P_{dinamis} = \rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h \quad (3.12)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_{ud} \cdot (U_{ref})^2 = SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot 2 \cdot \Delta y \sin 15^\circ$$

$$U_{ref}^2 = \frac{4 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin 15^\circ}{\rho_{udara}}$$

$$U_{ref} = \sqrt{\frac{4 \cdot SG_{kerosene} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \cdot \Delta y \sin 15^\circ}{\rho_{udara}}} \quad (3.13)$$

- Dimana: $P_{dinamis}$: ($P_{stagnasi} - P_{statis}$) tekanan dinamis diukur dengan *pitot tube* (N/m²)
- $P_{kerosene}$: massa jenis *kerosene* pada 26,6°C (kg/m³)
- ρ_{udara} : massa jenis udara pada 26,6°C (kg/m³)
- g : percepatan gravitasi (m/s²)
- Δh : perbedaan fluida pada manometer (m)
- U_{ref} : kecepatan freestream pada *inlet upstream* (m/s)
- $SG_{kerosene}$: *Specific Gravity kerosene* pada 26,6°C

ρ_{H2O} : massa jenis air pada 26,6°C
(kg/m³)

2) Perhitungan kecepatan lokal

Profil kecepatan diukur pada 5 test section sepanjang *downstream straight duct* dengan variasi jarak peletakkan *threaded disturbance body*. Perhitungan profil kecepatan pada setiap *section* sepanjang *downstream straight duct* ditulis sesuai persamaan 3.14 sebagai berikut:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_o - p_s)}{\rho_{udara}}} \quad (3.14)$$

dimana:

- p_o : tekanan stagnasi
- p_s : tekanan statis
- ρ_{ud} : massa jenis udara pada T = 26,6°C
- $p_o - p_s$: tekanan dinamis

3) Perhitungan Koefisien Losses elbow 90° ($K_{elbow\ 90^\circ}$)

Eksperimen ini menggunakan *duct elbow 90°* berpenampang *square* dengan dipasang sebuah *threaded disturbance body* pada variasi jarak 0,1 D_h sampai 0,5 D_h dan 0,9 D_h dari *inlet elbow 90°*. Pemasangan *elbow 90°* akan mengakibatkan *koefisien losses elbow 90°* pada saluran. *Koefisien losses elbow 90°* adalah nilai konstanta yang menentukan besar kecil *head loss minor* akibat pemasangan sebuah *elbow 90°* pada sebuah saluran udara. Pada eksperimen ini, *koefisien losses elbow 90°* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap inlet elbow 90°* dan *outlet elbow 90°*.

$$P_{outlet\ elbow\ 90^\circ} - P_{inlet\ elbow\ 90^\circ} = K_{elbow\ 90^\circ} \frac{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}}{2} \quad (3.15)$$

$$K_{elbow\ 90^\circ} = \frac{(P_{outlet\ elbow\ 90^\circ} - P_{inlet\ elbow\ 90^\circ}) \times 2}{\bar{V}^2 \times \rho_{udara}} \quad (3.16)$$

Dimana:	$P_{outlet\ elbow\ 90^\circ}$:	Tekanan pada <i>outlet elbow 90°</i> (N/m ²)
	$P_{inlet\ elbow\ 90^\circ}$:	Tekanan pada <i>inlet elbow 90°</i> (N/m ²)
	\bar{V}^2	:	Kecepatan udara masuk pada upstream (m/s)
	ρ_{udara}	:	massa jenis udara pada 26,6°C (kg/m ³)
	$K_{elbow\ 90^\circ}$:	koefisien losses elbow 90°

Perhitungan *Koefisien losses elbow 90°* pada penelitian ini akan dilakukan dengan variasi *Reynolds number* $1,59 \times 10^4$ sampai $15,9 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 20 m/s dengan kenaikan kecepatan 2 m/s) dengan variasi jarak peletakan *threaded disturbance body* 0,1 sampai 0,5 D_h dan 0,9 D_h .

4) Perhitungan *Pressure Drop* (Δp)

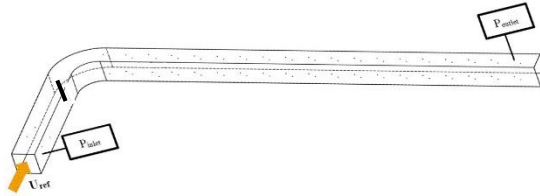
Pressure drop adalah selisih tekanan *inlet* pada *upstream straight duct* dan tekanan *outlet* pada *downstream straight duct* seperti pada gambar 3.12. Sisi *inner* dan *outer* mempunyai tekanan *inlet* dan *outlet* yang hampir sama. Perhitungan P_{inlet} dan P_{outlet} adalah sebagai berikut :

$$\Delta P = P_{inlet} - P_{outlet} \quad (3.17)$$

$$\Delta P = (\rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h_{inlet}) - (\rho_{kerosene} \cdot g \cdot \Delta h_{outlet})$$

$$\Delta P = (SG_{kerosene} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h_{inlet}) - (SG_{kerosene} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g \cdot \Delta h_{outlet})$$

Dimana:	ΔP	:	<i>Pressure Drop</i> (N/m ²)
	P_{inlet}	:	Tekanan <i>inlet</i> pada <i>upstream straight duct</i> (N/m ²)
	P_{outlet}	:	Tekanan <i>outlet</i> pada <i>downstream</i> (N/m ²)



Gambar 3.15 Lokasi perhitungan *pressure drop*

5) Perhitungan *Pressure Coefficient* (C_p)

Pada eksperimen ini, perhitungan *pressure coefficient* dilakukan pada *elbow 90°* untuk mengetahui *pressure drop* pada *elbow 90°*, perhitungan C_p dilakukan pada sisi *inner* dan *outer* pada *elbow 90°* tersebut.

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2} \quad (3.18)$$

$$C_p = \frac{P_c - P_{\infty}}{\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2} \quad (3.19)$$

Dimana: C_p : *Pressure Coefficient*
 P_c : Tekanan lokal (N/m^2)
 P_{∞} : Tekanan *freestream* (N/m^2)
 ρ : Massa jenis udara (kg/m^3)
 V : Kecepatan udara (m/s)

3.6 Urutan Langkah Pengambilan Data

Pada tabel 3.1 dijelaskan urutan langkah pengambilan data yang akan dilakukan. Urutan langkah pengambilan data adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Urutan Langkah Pengambilan Data

No.	Profil Kecepatan	Pressure Drop
1.	Peralatan disiapkan sesuai dengan instalasi penelitian	Peralatan disiapkan sesuai dengan instalasi penelitian
2.	<i>Threaded Disturbance Body</i> dipasang pada jarak $0,1D_h$ sebelum <i>inlet elbow</i> 90°	<i>Threaded Disturbance Body</i> dipasang pada jarak $0,1D_h$ sebelum <i>inlet elbow</i> 90°
3.	<i>Induced Draft Fan</i> dinyalakan	<i>Induced Draft Fan</i> dinyalakan
4.	Kecepatan pada <i>inlet</i> 12 m/s dengan <i>Reynolds Number</i> (Re_{Dh}) $9,52 \times 10^4$.	Kecepatan <i>inlet</i> 2 m/s sampai 20 m/s yang memiliki variasi <i>Reynolds Number</i> (Re_{Dh}) $1,59 \times 10^4$ sampai $15,9 \times 10^4$
5.	Profil kecepatan dihitung dari tekanan dinamis dengan <i>pitot tube</i> pada 5 <i>sections</i> sepanjang <i>downstream</i>	<i>Pressure Drop</i> dihitung dari pengukuran tekanan statis <i>wall pressure tap</i> pada posisi P_{inlet} dan P_{outlet} .
6.	Data diolah hingga didapatkan grafik profil kecepatan pada setiap <i>section</i>	Data diolah hingga didapatkan grafik <i>pressure drop vs Re_{Dh}</i>
7.	Langkah 2 sampai 6 diulangi dengan variasi jarak peletakkan <i>Threaded Disturbance Body</i> $0,1D_h$; $0,2D_h$; $0,3D_h$; $0,4D_h$; $0,5D_h$; $0,9D_h$	Langkah 2 sampai 6 diulangi dengan variasi jarak peletakkan <i>Threaded Disturbance Body</i> $0,1D_h$; $0,2D_h$; $0,3D_h$; $0,4D_h$; $0,5D_h$; $0,9D_h$

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ditampilkan data, grafik dan penjelasan dari hasil studi eksperimen. Hasil studi ditampilkan dan dibahas dalam beberapa sub-bab meliputi profil kecepatan horizontal dan vertikal pada sisi *upstream straight duct* dengan *threaded disturbance body* pada variasi jarak yang telah ditentukan, *pressure drop*, *Pressure Coefficient*, dan koefisien *losses elbow 90°* dengan variasi *Reynolds Number*. pembahasan hasil dan analisa eksperimen profil kecepatan pada penampang horizontal dan vertikal dengan TDB yang divariasikan jaraknya yaitu $0,1 D_h$ sampai $0,5 D_h$ dan $0,9 D_h$ dengan profil kecepatan model uji tanpa TDB pada kecepatan 12 m/s, *pressure drop* pada *square duct* dengan *elbow 90°* dengan variasi *Reynolds Number* $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 15,9 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 20 m/s dengan kenaikan kecepatan 2 m/s) dengan variasi tanpa TDB, jarak peletakkan TDB $0,1 D_h$ sampai $0,5 D_h$ dan $0,9 D_h$, koefisien *loses elbow 90°* dengan variasi *Reynolds Number* $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 15,9 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 20 m/s dengan kenaikan kecepatan 2 m/s), serta *Pressure Coefficient* pada *elbow 90°* dengan variasi jarak peletakkan TDB $0,1 D_h$ sampai $0,5 D_h$ dan $0,9 D_h$.

4.1 Pressure drop pada Square Duct dengan Reynolds Number $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 15,9 \times 10^4$

Pada sub-bab ini ditampilkan hasil penelitian berupa grafik pengaruh *Threaded Disturbance Body* (TDB) dan *Reynolds Number* (Re_{Dh}) terhadap *pressure drop* (Δp) sepanjang *square duct* dengan *elbow 90°*. *Square duct* divariasikan tanpa dan dengan TDB, dengan jarak peletakkannya (l/D_h) $0,1 D_h$ sampai $0,5 D_h$ dan $0,9 D_h$ dari *inlet elbow 90°* dengan rasio kelengkungan (R/D_h) sebesar 1,5. Sedangkan variasi *Reynolds Number* $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 15,9 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 20 m/s) dengan kenaikan kecepatan 2 m/s. Perhitungan Δp

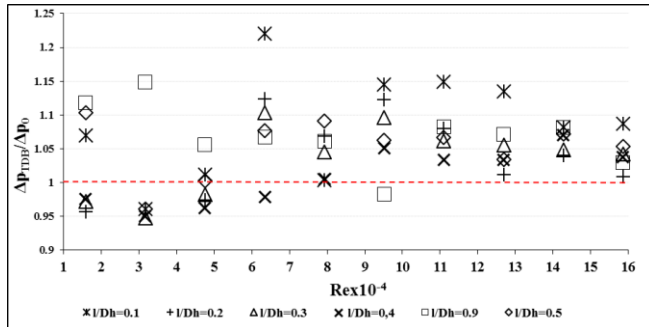
menggunakan tekanan pada *inlet upstream duct* (1) dan *outlet downstream duct* (4). Semakin meningkatnya *Reynolds Number* maka akan semakin meningkat pula *pressure drop* yang terjadi pada masing-masing jarak peletakan TDB. Sehingga dapat dikatakan jika kecepatan dari suatu fluida meningkat, maka *pressure drop* akan meningkat pula. Hal ini dapat disebabkan oleh *headloss* yang semakin besar, sesuai dengan perumusan sebagai berikut :

$$\frac{P_{outlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{outlet}^2}{2} + gz_{outlet} = \frac{P_{inlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{inlet}^2}{2} + gz_{inlet} + h_{lT} \quad (4.1)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = h_{lT} = h_l + h_{lm} \quad (4.2)$$

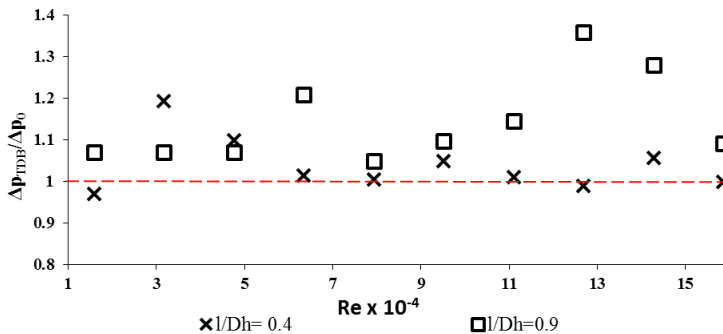
$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\bar{V}^2}{2} x \left(f \frac{L_{upstream}}{D_h} + f \frac{L_{downstream}}{D_h} + k_{elbow 90^\circ} \right) \quad (4.3)$$

Dengan adanya TDB pada saluran, akan mengurangi *losses* pada *elbow 90°* dengan memanfaatkan adanya *shear layer* (aliran yang terseparasi) dari TDB yang memiliki intensitas turbulensi cukup kuat untuk melawan *adverse pressure* pada sisi *inner* maupun *outer* dan mengurangi *blockage area* sehingga momentum aliran utama tidak berkurang terlalu banyak akibat adanya *losses* pada *elbow 90°* tersebut.



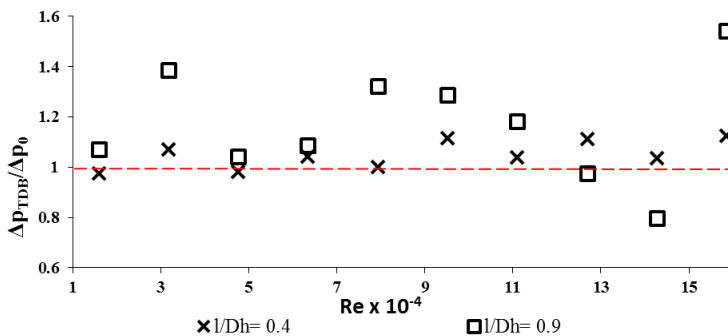
Gambar 4.1 Grafik rasio *pressure drop* tanpa TDB dan dengan menggunakan TDB variasi $l/Dh= 0.1$ sampai 0.5 dan 0.9

Pada gambar 4.1 menjelaskan grafik rasio *pressure drop* dengan tanpa TDB dan menggunakan TDB ($\Delta P_{TDB}/\Delta P_0$) pada variasi $l/Dh=0.1$ sampai 0.5 dan 0.9 , dapat dilihat bahwa dengan adanya *threaded disturbance body* sebagai bodi pengganggu mampu mengurangi nilai *pressure drop* pada *Reynolds Number* yang rendah dibandingkan dengan tanpa menggunakan TDB, dimana nilai *pressure drop* akan meningkat secara signifikan seiring dengan meningkatnya *Reynolds Number* pada setiap variasi jarak TDB. Penurunan nilai *pressure drop* paling efektif terjadi pada variasi TDB $l/Dh= 0.4$ dimana pada *Reynolds Number* $1,59 \times 10^4$ sampai $6,34 \times 10^4$ lalu meningkat sampai dengan *Reynolds Number* $15,9 \times 10^4$, sementara pada variasi TDB $l/Dh=0.9$ dengan dibandingkan tanpa TDB kurang efektif menurunkan *pressure drop* karena tidak terjadi penurunan pada *Reynolds Number* $1,59 \times 10^4$ sampai $15,9 \times 10^4$.



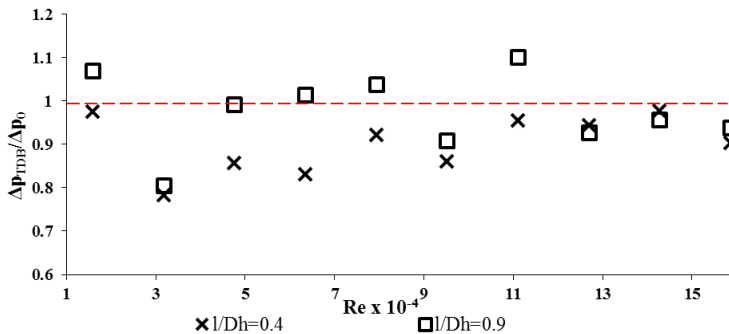
Gambar 4.2 Grafik *pressure drop* pada *upstream duct* tanpa TDB dan menggunakan TDB variasi $l/D_h = 0.4$ dan $l/D_h = 0.9$

Pada gambar 4.2 didapatkan hasil pengaruh penambahan TDB menyebabkan kenaikan nilai *pressure drop* pada *upstream duct* dibandingkan saluran tanpa TDB. Pada saat nilai *Reynolds Number* ($1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 15,9 \times 10^4$) kenaikan nilai *pressure drop* pada variasi $(l/D_h) = 0.9$ lebih besar daripada variasi $(l/D_h) = 0.4$ dan variasi tanpa TDB.



Gambar 4.3 Grafik *pressure drop* pada *elbow 90°* tanpa TDB dan menggunakan TDB variasi $l/D_h = 0.4$ dan $l/D_h = 0.9$

Pada gambar 4.3 ditampilkan bahwa penambahan TDB dapat menurunkan dan meningkatkan nilai *pressure drop* pada *single guide vane elbow 90°* dibandingkan saluran tanpa TDB. Pada saat nilai *Reynolds Number* ($1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 15,9 \times 10^4$) kenaikan nilai *pressure drop* pada variasi $(l/D_h) = 0.9$ lebih besar daripada variasi $(l/D_h) = 0.4$ dan variasi tanpa TDB.

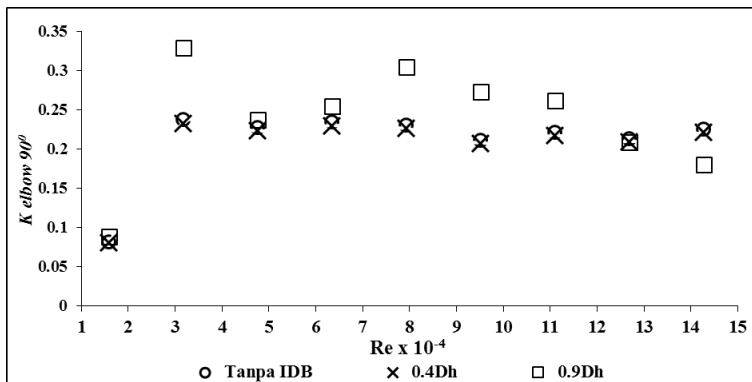


Gambar 4.4 Grafik *pressure drop* pada *downstream duct* tanpa TDB dan menggunakan TDB variasi $l/D_h = 0.4$ dan $l/D_h = 0.9$

Pada gambar 4.4 menjelaskan grafik *pressure drop* pada *downstream duct* dengan penambahan TDB variasi $l/D_h = 0.4$ hampir berhimpitan dengan grafik tanpa TDB sampai *Reynolds Number* $3,171 \times 10^4$. Setelah itu terus terus menurun dan lebih rendah dari tanpa TDB sampai $Re_{Dh} 15,9 \times 10^4$. Sedangkan pada variasi $l/D_h = 0.9$ hampir berhimpitan dengan grafik tanpa TDB sampai *Reynolds Number* $7,93 \times 10^4$ lalu lebih tinggi daripada tanpa TDB. Penurunan nilai *pressure drop* paling efektif pada variasi TDB ($l = 0.4D_h$), dengan rata-rata *ratio* perbandingan *pressure drop* (DB/D_0) sebesar 1,009. Sedangkan pada variasi TDB ($l = 0.9D_h$) justru mengalami peningkatan dengan rata-rata *ratio* perbandingan *pressure drop* (DB/D_0) sebesar 1,069.

4.2 Koefisien Losses Elbow 90° pada Square Duct dengan Reynolds Number $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 15,9 \times 10^4$

Pada sub bab ini ditampilkan hasil penelitian berupa grafik pengaruh *threaded disturbance body* (TDB) dan bilangan Reynolds (Re_{Dh}) terhadap *minor loss coefficient* (K) elbow 90°. Elbow 90° divariasikan tanpa dan dengan TDB sebelum memasuki elbow 90. Square duct divariasikan tanpa dan dengan TDB, dengan jarak peletakannya (l/D_h) 0,1 D_h sampai 0,5 D_h dan 0,9 D_h dari inlet elbow 90° dengan rasio kelengkungan (R/D_h) sebesar 1,5. Sedangkan variasi Reynolds Number $1,59 \times 10^4 < Re_{Dh} < 15,9 \times 10^4$ (kecepatan udara 2 m/s sampai 20 m/s) dengan kenaikan kecepatan 2 m/s. Perhitungan didapatkan dari data perbedaan tekanan pada pressure tap inlet elbow 90° di upstream duct dan pressure tap outlet elbow 90° di downstream duct.



Gambar 4.5 Grafik *minor loss coefficient* (K) tanpa TDB dan menggunakan TDB dengan variasi $l/D_h=0.4$ dan $l/D_h=0.9$

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya Reynolds number maka akan semakin meningkat pula trendline koefisien losses elbow 90° yang terjadi pada masing-masing pada masing-masing jarak peletakan inlet disturbance body. Sehingga dapat dikatakan jika kecepatan dari suatu fluida

meningkat, maka *koefisien losses elbow 90°* akan meningkat. Hal ini dapat disebabkan oleh *headloss minor* yang semakin besar, sesuai dengan perumusan sebagai berikut :

$$\frac{P_{outlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{outlet}^2}{2} + gz_{outlet} = \frac{P_{inlet}}{\rho} + \frac{\bar{V}_{inlet}^2}{2} + gz_{inlet} + h_{lm} \quad (4.4)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = h_{elbow 90^\circ} \quad (4.5)$$

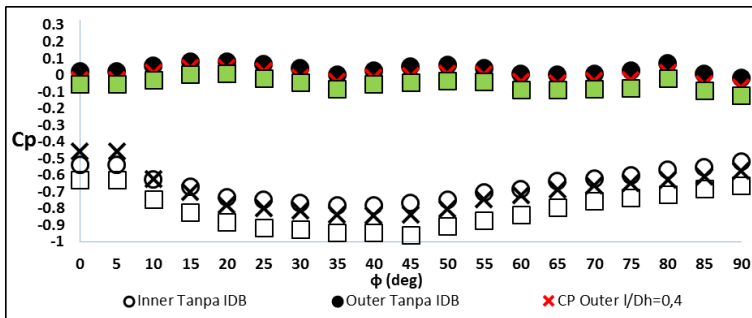
$$\frac{\Delta P}{\rho} = k_{elbow 90^\circ} \left(\frac{\bar{V}^2}{2} \right) \quad (4.6)$$

$$k_{elbow 90^\circ} = \frac{2 \Delta P}{\rho \bar{V}^2} \quad (4.7)$$

Selain itu, dari gambar 4.5 pada jarak *threaded disturbance body* $0,4 D_h$ mempunyai nilai yang meningkat mulai dari *Reynolds Number* $3,97 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds Number* $15,9 \times 10^4$. Nilai grafik meningkat ini juga terjadi pada jarak $0,9 D_h$ mulai dari *Reynolds Number* $3,97 \times 10^4$ sampai dengan *Reynolds Number* $15,9 \times 10^4$, tetapi nilainya masih lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa TDB. Hal ini dapat sesuai dengan perumusan 4.7, yaitu ketika kecepatan aliran yang melintasi saluran meningkat maka nilai *pressure drop* akan meningkat. Oleh karena itu, dengan semakin meningkatnya *pressure drop* maka nilai *koefisien losses elbow 90°* akan semakin meningkat. Dari seluruh variasi TDB, dapat dilihat bahwa pada jarak TDB $0,4 D_h$ memiliki nilai *koefisien losses elbow 90°* paling rendah, sedangkan pada jarak *inlet disturbance body* $0,9 D_h$ memiliki nilai *koefisien losses elbow 90°* paling tinggi. Pada variasi TDB ($l=0,4 D_h$) memiliki nilai rata-rata *ratio perbandingan* (DB/D0) koefisien *losses* (K) *elbow 90°* sebesar 0,981. Sementara variasi TDB ($l=0,9 D_h$) memiliki rata-rata *ratio perbandingan* (DB/D0) koefisien *losses* (K) *elbow 90°* sebesar 1,1693.

4.3 Pressure Coefficient Single Guide Vane Elbow 90° pada Square Duct dengan Reynolds Number $9,52 \times 10^4$

Pada sub bab ini ditampilkan hasil penelitian berupa grafik pengaruh *square disturbance body* dan *Reynolds Number* terhadap *Pressure Coefficient* (C_p) pada *elbow 90°*. *Elbow 90°* divariasikan tanpa dan dengan TDB sebelum memasuki *elbow 90°*, dengan jarak peletakannya (l/D_h) 0,1 D_h sampai 0,5 D_h dan 0,9 D_h dari *inlet elbow 90°* dengan rasio kelengkungan (R/D_h) sebesar 1,5. *Pressure Coefficient* didapatkan dari data perbedaan tekanan dari *pressure tap freestream* dan *pressure tap outer wall* maupun *inner wall* yang terdapat pada sepanjang dinding melengkung dari *elbow 90°* yang dipasang masing – masing sebanyak 19 *pressure tap* dari 0° sampai 90° dengan selisih pemasangan antar *pressure tap* setiap kenaikan 5°.



Gambar 4.6 Distribusi *Pressure Coefficient* pada *Square Elbow 90°* tanpa TDB dan dengan TDB variasi jarak peletakan *square disturbance body* terhadap $Re_{Dh} 9,52 \times 10^4$

Pada gambar 4.6 ditampilkan distribusi *Pressure Coefficient* (C_p) sepanjang sisi *inner* (grafik bagian bawah) dan *outer* (grafik bagian atas) *elbow 90°* terhadap titik sepanjang sisi tersebut tiap 5° dan $Re_{Dh} 9,52 \times 10^4$. Dapat dilihat bahwa distribusi C_p pada sisi *inner* maupun *outer* terjadi perubahan nilai sepanjang penampang melintang baik itu *elbow 90°* tanpa TDB maupun dengan

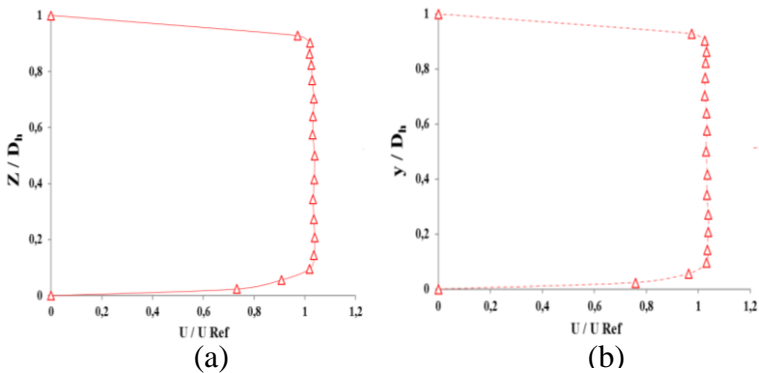
penambahan TDB. *Pressure coefficient* (C_p) terbesar pada sisi *outer elbow* 90° adalah variasi tanpa TDB dengan nilai tertinggi pada puncak grafik sebesar 0,777. Sedangkan untuk variasi TDB $l/Dh=0.4$ dan $l/Dh=0.9$ menunjukkan grafik yang hampir mirip dengan nilai tertinggi pada puncak grafik adalah sebesar 0,0477 dan 0,0879. *Pressure coefficient* (C_p) terkecil pada sisi *inner elbow* 90° adalah pada variasi $l/Dh=0.4$ dengan nilai terendah pada dasar grafik sebesar -0,45712, selanjutnya variasi tanpa TDB dengan nilai terendah -0,5375, dan variasi $l/Dh=0.9$ dengan nilai terendah -0,6297.

Fenomena aliran yang terjadi pada *elbow* 90° dapat dilihat berdasarkan gambar 4.6 aliran yang melewati sisi *inner* mengalami fenomena seperti melalui *nozzle* pada sudut 0° sampai 45° , dimana pada sudut tersebut terjadi penurunan nilai C_p yang menandakan terjadinya penurunan tekanan dan kenaikan kecepatan aliran. Sebaliknya, ketika aliran melewati sudut 50° sampai 90° seolah-olah aliran melewati sebuah *diffuser* yang ditandai dengan kenaikan nilai C_p yang menandakan kenaikan tekanan dan penurunan kecepatan. Pada sisi *outer* mulai sudut 0° hingga 45° terjadi kenaikan nilai C_p yang berarti tekanan juga meningkat dan kecepatan aliran menurun seolah-olah memasuki sebuah *diffuser*, sebaliknya mulai sudut 50° sampai 90° terjadi penurunan nilai C_p yang juga menandakan penurunan tekanan dan kenaikan kecepatan seperti pada sebuah *nozzle*. Fenomena lain yang terjadi pada sisi *inner* adalah adanya *reattachment*, yaitu terjadinya tumbukan dari *shear layer* yang diakibatkan oleh penambahan TDB dimana *shear layer* tersebut dapat meningkatkan momentum untuk melawan *advers pressure* pada sisi *inner wall*.

4.4 Perbandingan Profil Kecepatan Bidang Horizontal dan Vertikal pada Sisi *Inlet Upstream Straight Duct* $Re_{Dh}=9,52 \times 10^4$

Profil kecepatan pada sisi *upstream straight duct* digunakan sebagai acuan untuk menentukan gambaran proses *recovery* profil kecepatan daerah *downstream straight duct* pada *section* yang telah ditentukan. Pada gambar 4.7.(a) menunjukkan

perilaku aliran dua pada sisi *upstream straight duct* berupa grafik *velocity profile* pada bidang horizontal. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $z/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *inner upstream straight duct* dan $z/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *outer upstream straight duct*.



Gambar 4.7 Grafik *velocity profile* (a) bidang horizontal (b) bidang vertikal

Pada gambar 4.7.(b) menunjukkan perilaku aliran dua pada sisi *upstream straight duct* berupa grafik *velocity profile* pada bidang vertikal. *Velocity profile* dalam bentuk bilangan tak berdimensi yang bernilai dari nol sampai satu pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan pada ordinat. Absis pada grafik menunjukkan posisi titik dimana nilai $y/D_h = 0$ adalah posisi yang searah dengan sisi *lower upstream straight duct* dan $y/D_h = 1$ adalah posisi yang searah dengan sisi *upper upstream straight duct*.

4.5 Distribusi Profil Kecepatan Bidang Horizontal dengan Variasi Tanpa *Inlet Disturbance Body* dan Jarak $0,1D_h - 0,5D_h$ dan $0,9D_h$ pada $Re_{Dh} = 9,52 \times 10^4$

Profil kecepatan bidang horizontal pada bagian *downstream* diambil dari data pada *section 2* ($x/D_h=2$), 4 ($x/D_h=4$), 6 ($x/D_h=6$), 10 ($x/D_h=10$) dan 14 ($x/D_h=14$). Pengambilan data pada setiap *section* terdiri dari 5 titik dari sisi *inner* sampai sisi *outer square duct. Elbow 90°* divariasikan tanpa dan dengan IDB sebelum memasuki *elbow 90°*, dengan jarak peletakkannya (l/D_h) 0,1 D_h sampai 0,5 D_h dan 0,9 D_h dari *inlet elbow 90°* dengan rasio kelengkungan (R/D_h) sebesar 1,5. Analisa profil kecepatan bidang horizontal secara dua dimensi sepanjang *downstream*. Profil kecepatan adalah bilangan tak berdimensi yang bernilai 0 sampai 1 pada absis sedangkan besarnya profil kecepatan ditunjukkan oleh perbandingan u/U_{ref} pada ordinat. Pada setiap *section*, aliran *freestream* digunakan sebagai acuan aliran sudah melalui proses *recovery*. Pada gambar 4.8 ditampilkan profil kecepatan bidang horizontal sepanjang *downstream* pada masing-masing *cross-section* untuk variasi tanpa TDB, TDB $l/D_h=0,4$, TDB $l/D_h=0,9$. Penambahan *single guide vane* pada *elbow 90°* mengakibatkan aliran yang melewati *elbow 90°* seolah-olah terbagi menjadi dua aliran. Dengan adanya *single gate vane* Pada *section 2* (x/D_h) =2, tampak grafik pada setiap variasi hampir membentuk *trendline* yang sama dengan kecepatan tertinggi berada pada $Z/D_h=0.416$, namun terdapat perbedaan pada sisi *inner downstream* tampak profil kecepatan variasi tanpa TDB mengalami penurunan kecepatan pada $Z/D_h=0.02$ hingga 0.2 sebelum naik secara signifikan, hal tersebut menandakan bahwa masih terdapat *backflow* setelah melewati sisi *inner elbow 90°*.

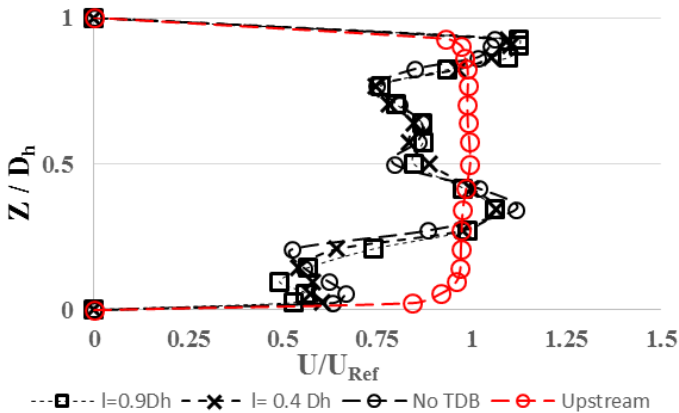
Demikian pada penambahan TDB pada jarak (l/D_h) =0.1 dan (l/D_h) =0.9 penurunan kecepatan pada sisi *inner downstream* mengalami penundaan akibat diberikan agitasi pada aliran yang melaluinya. Selain itu, fenomena tersebut juga dipengaruhi oleh adanya *shear layer* (aliran yang terseparasi) dari TDB yang mempunyai intensitas turbulensi yang cukup kuat untuk

menambah momentum aliran melawan *adverse pressure* di sisi *inner*. Kemudian pada *section 4* (x/D_h)=4, 6 (x/D_h)=6, 10 (x/D_h)=10, dan 14 (x/D_h)=14 *secondary flow* yang sebelumnya kuat di sisi *inner* secara berangsur-angsur telah merambat ke sisi *outer* seiring dengan berkurangnya kecepatan pada sisi *outer*, dengan demikian *backflow* pada bagian tengah penampang (*centerline*) semakin berkurang akibat penambahan *single guide vane* seperti terlihat pada ketiga gambar. Dan pada *section 10* (x/D_h)= 10 dan 14 (x/D_h) = 14 semua aliran pada ketiga gambar sudah mendekati profil kecepatan yang berkembang secara penuh (*fully developed flow*) seperti profil kecepatan pada sisi *upstream*, hanya masih terdapat sedikit aliran pada variasi tanpa TDB yang lebih besar pada sisi *outer*.

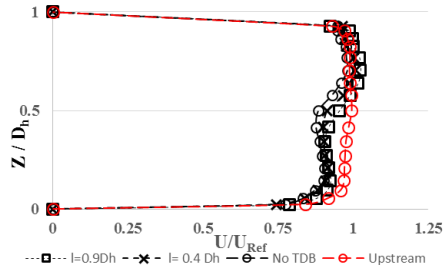
4.6 Distribusi Profil Kecepatan Bidang Vertikal dengan Variasi Tanpa Inlet Disturbance Body dan Jarak $0,1D_h - 0,5D_h$ dan $0,9D_h$ pada $Re_{Dh} = 9,52 \times 10^4$

Sama seperti sebelumnya, profil kecepatan bidang vertikal pada bagian *downstream* diambil dari data pada *section 2* (x/D_h)=2), 4 (x/D_h)=4), 6 (x/D_h)=6), 10 (x/D_h)=10) dan 14 (x/D_h)=14). Pengambilan data pada setiap *section* terdiri dari 5 titik dari sisi *inner* sampai sisi *outer square duct. Elbow 90°* divariasikan tanpa dan dengan IDB sebelum memasuki *elbow 90°*, dengan jarak peletakkannya (l/D_h) $0,1 D_h$ sampai $0,5D_h$ dan $0,9 D_h$ dari *inlet elbow 90°* dengan rasio kelengkungan (R/D_h) sebesar 1,5. Pada gambar 4.9 ditampilkan profil kecepatan bidang vertikal sepanjang *downstream* pada masing-masing *cross-section* untuk variasi tanpa TDB, TDB $l/D_h = 0,4$ dan TDB $l/D_h = 0,9$. Secara umum profil kecepatan mengalami perubahan setelah *outlet elbow 90°* dibanding pada *upstream*. Perbedaan tekanan tidak terlalu terlihat secara signifikan karena kelengkungan *radius elbow 90°* antara kecepatan sisi *lower* dan *upper* tidak berpengaruh saat aliran telah melewati *elbow 90°*. Sedikit perbedaan tampak pada *section 2* pada semua variasi, dimana terdapat penurunan kecepatan pada $y/D_h = 0,5$ atau pada posisi *centreline* dikarenakan penambahan *single*

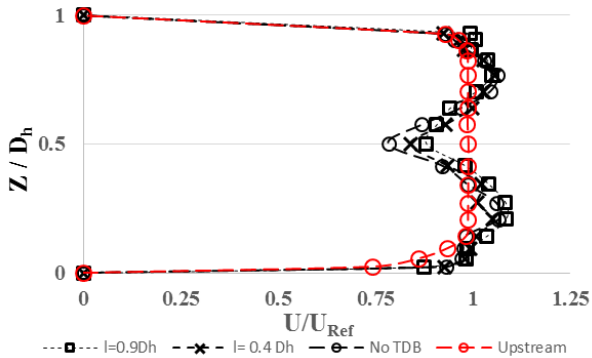
guide vane mampu menyebabkan aliran setelah melewati *elbow* akan sedikit terhambat akibat adanya fenomena *backflow* sehingga profil kecepatan sedikit menurun. Distribusi kecepatan aliran mulai terlihat berubah ketika memasuki *section 4* hingga *section 14* dimana mengalami percepatan aliran pada semua variasi peletakan TDB. Pada variasi TDB (l/D_h)= 0.1 terlihat sedikit perbedaan dibandingkan variasi lain dimana terdapat akselerasi kecepatan pada posisi *section 6* dan $y/D_h=0,02$ hingga 0,1 hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan bodi pengganggu dapat meningkatkan kecepatan pada sisi *lower downstream*. Selanjutnya pada *section 10* (x/D_h)= 10 dan 14 (x/D_h)= 14 semua aliran pada ketiga gambar sudah mendekati profil kecepatan yang berkembang secara penuh (*fully developed flow*) seperti profil kecepatan pada sisi *upstream*, hanya masih terdapat sedikit aliran yang lebih besar pada sisi *lower dan upper*.



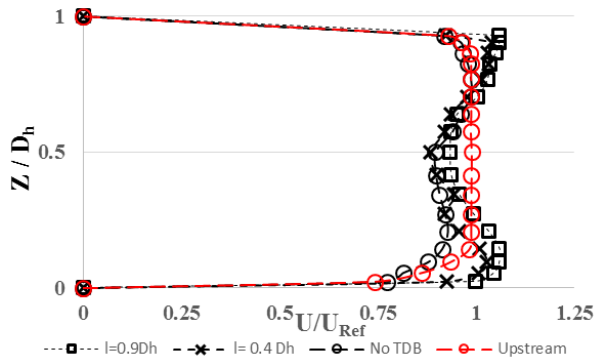
a)



Gambar 4.8 Profil kecepatan bidang horizontal sepanjang *downstream* tanpa dan dengan variasi TDB jarak (l/D_h) = 0,4 dan 0,9 (a) pada $x/D_h = 2$ (b) pada $x/D_h = 6$ menggunakan *Reynolds Number* $9,5 \times 10^4$



(a)



(b)

Gambar 4. 1 Profil kecepatan bidang vertikal sepanjang *downstream* tanpa dan dengan variasi TDB jarak (l/D_h) = 0,4 dan 0,9 (a) pada $x/D_h = 2$ (b) pada $x/D_h = 6$ menggunakan *Reynolds Number* $9,5 \times 10^4$

4.7 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Pada sub-bab ini akan dibandingkan hasil eksperimen dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh **Halwan Firmansyah Farich [2016]**. Pada penelitian yang berjudul *studi eksperimen aliran melalui square duct dan square elbow 90° dengan single guide vane pada variasi sudut bukaan damper*, memiliki tujuan yang sama untuk mengamati karakteristik aliran yang melewati *square duct* dengan ditambahkan *elbow 90°*. Dalam penelitian ini terdapat beberapa persamaan seperti dimensi saluran berpenampang bujursangkar (*square duct*), rasio kelengkungan *elbow 90°*, panjang *upstream* dan *downstream*). Namun terdapat beberapa perbedaan dalam penelitian ini seperti *Reynolds Number*, dan variasi yang digunakan. Perbedaan tersebut dapat

dikesampingkan karena hasil eksperimen yang dibandingkan menggunakan bilangan yang tak berdimensi sehingga perbedaan tersebut dapat dikesampingkan. Adapun persamaan dan perbedaan dalam penelitian ini dijelaskan dalam tabel 4.2.

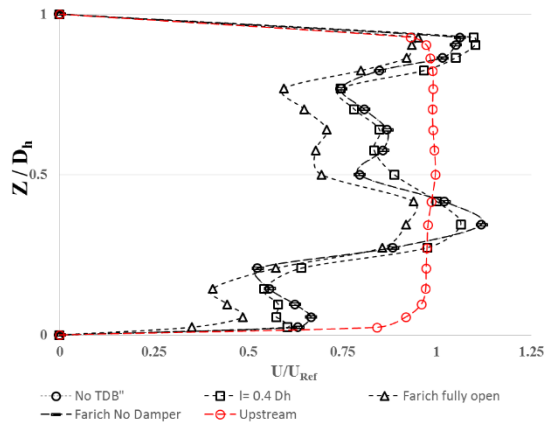
Tabel 4. Persamaan dan Perbedaan Penelitian

Parameter	H.F Farich (2010)	Aulia Azizah (2018)
Geometri	<i>Square Duct</i> ($D_h=125\text{mm}$)	<i>Square Duct</i> ($D_h=125\text{mm}$)
Panjang <i>Upstream</i>	$7 D_h$	$7 D_h$
Rasio kelengkungan <i>elbow</i> 90°	$(r/D_h=1.5)$	$(r/D_h=1.5)$
Panjang <i>Downstream</i>	$15 D_h$	$15 D_h$
Type <i>elbow</i> 90°	<i>Single Guide Vane</i>	<i>Single Guide Vane</i>
<i>Reynolds Number</i> untuk profil kecepatan	$Re_{D_h} 9.21 \times 10^4$ (Kecepatan 10 m/s)	$Re_{D_h} 9.5 \times 10^4$ (Kecepatan 12 m/s)
Variasi	Sudut bukaan <i>dampers</i> $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ dan 30°	Jarak longitudinal ($l/D_h= 0.4$ dan 0.9)

4.5.1 4.6.1 Perbandingan Velocity Profile dengan penelitian Halwan Firmansyah Farich [2016]

Hasil penelitian yang akan dibandingkan yaitu profil kecepatan horisontal. Perbandingan ini bertujuan untuk mendapatkan validasi hasil eksperimen yang telah dilakukan, sehingga hasil yang didapatkan dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya. Perbandingan distribusi profil kecepatan antara hasil eksperimen dengan penelitian yang dilakukan H.F Farich dibandingkan pada posisi yang sama yaitu pada section 2 (x/D_h) = 2. Perbedaannya penelitian

kali ini terdapat pada pemilihan nilai *Reynolds Number* yaitu $Re\ 9.5 \times 10^4$ pada variasi jarak longitudinal (l/Dh)= 0.1, sedangkan H.F Farich menggunakan *Reynolds Number* sebesar $7,88 \times 10^4$ pada variasi bukaan damper sudut 0° .



Gambar 4. 2 Perbandingan profil kecepatan hasil eksperimen dengan penelitian H.F Farich [2016] pada *single guide vane elbow* 90°

Berdasarkan gambar 4.10 dapat dilihat bahwa perbandingan antara hasil eksperimen yang telah dilakukan dengan penelitian yang dilakukan Farich memiliki kesamaan secara pola distribusi meskipun secara nilai pasti tidak sama. Pada distribusi profil kecepatan (gambar 4.10) menunjukkan pola yang identik sama dengan adanya percepatan pada sisi *outer* dan kemudian diikuti dengan terjadinya difisit momentum pada sisi *inner*. Kesamaan pola distribusi profil kecepatan sangat terlihat jelas pada variasi tanpa TDB. Hal ini menunjukkan bahwa percobaan yang telah dilakukan memiliki

hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain seperti H.F Farich.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan dibahas pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *threaded disturbance body* sebagai bodi pengganggu dan penambahan *single guide vane* pada *elbow* 90° dapat menurunkan nilai *pressure drop* dibandingkan dengan tanpa menggunakan *threaded disturbance body*, namun untuk beberapa variasi nilai *pressure drop* justru lebih besar pada nilai *Reynold's Number* tertentu. Penurunan nilai *pressure drop* paling efektif pada variasi TDB ($l=0.4D_h$), dengan rata-rata *ratio* perbandingan *pressure drop* (DB/D0) sebesar 1,009. Sedangkan pada variasi TDB ($l = 0,9D_h$) justru mengalami peningkatan dengan rata-rata *ratio* perbandingan *pressure drop* (DB/D0) sebesar 1,069.
2. Penambahan *threaded disturbance body* sebagai bodi pengganggu dan penambahan *single guide vane* pada *elbow* 90° menghasilkan nilai koefisien *losses* (K) *elbow* 90° yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa menggunakan *cylinder disturbance body*. Pada variasi TDB ($l=0,4D_h$) memiliki nilai rata-rata *ratio* perbandingan (DB/D0) koefisien *losses* (K) *elbow* 90° sebesar 0,981. Sementara variasi TDB ($l=0,9D_h$) memiliki rata-rata *ratio* perbandingan (DB/D0) koefisien *losses* (K) *elbow* 90° sebesar 1,1693.
3. Perbedaan nilai *Pressure Coefficient* (C_p) cukup signifikan terjadi pada *single guide vane elbow* 90° dengan saluran tanpa TDB dan dengan TDB. *Pressure coefficient* (C_p) terbesar pada sisi *outer elbow* 90° adalah variasi tanpa TDB dengan nilai tertinggi pada puncak grafik sebesar 0,777. Sedangkan untuk variasi TDB $l/D_h=0.4$ dan

$l/D_h=0.9$ menunjukkan grafik yang hampir mirip dengan nilai tertinggi pada puncak grafik adalah sebesar 0,0477 dan 0,0879. *Pressure coefficient* (C_p) terkecil pada sisi *inner elbow* 90° adalah pada variasi $l/D_h=0.4$ dengan nilai terendah pada dasar grafik sebesar -0,45712, selanjutnya variasi tanpa TDB dengan nilai terendah -0,5375, dan variasi $l/D_h=0.9$ dengan nilai terendah -0,6297.

4. Pengamatan profil kecepatan dilakukan pada bidang horizontal dan vertikal pada section 2,4,6,10 dan 14 menunjukkan bahwa dengan penambahan TDB, profil kecepatan horizontal pada section 2 – 4 memiliki bentuk yang berbeda dibanding tanpa TDB, sedangkan untuk profil kecepatan vertikal pada section 2 - 6 juga memiliki bentuk yang berbeda dibanding tanpa TDB. Pada section 6 - 14 untuk *horizontal* dan section 10-14 untuk *vertikal* semua variasi menunjukkan bentuk profil kecepatan yang mirip. Penambahan TDB dapat menyebabkan penundaan separasi aliran karena *shear layer* yang dihasilkan TDB memberikan momentum aliran yang lebih kuat untuk melawan *advers pressure* dan penambahan *single guide vane* pada *elbow* 90° berfungsi untuk memecah aliran dan mengarahkan aliran agar *secondary flow* tidak sampai terbentuk.

5.2 Saran

Adapun saran yang diperlukan untuk kedepannya adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan keakuratan data kuantitatif dan kualitatif yang baik dan akurat pada saat pengambilan data diperlukan peralatan yang berkualitas baik dan akurat. Sehingga pembaruan dan perawatan peralatan harus dilakukan.
2. Kondisi ruangan yang stabil harus dikontrol agar data yang diperoleh baik.
3. Diperlukan adanya kajian eksperimen dengan variasi *gap* penempatan *inlet disturbance body* dan variasi diameter silinder sebagai *inlet disturbance body* pada jarak D_h tertentu dari *inlet elbow* 90° agar dapat dibandingkan hasil eksperimen fenomena aliran yang terjadi dengan pengaruh dari variasi tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

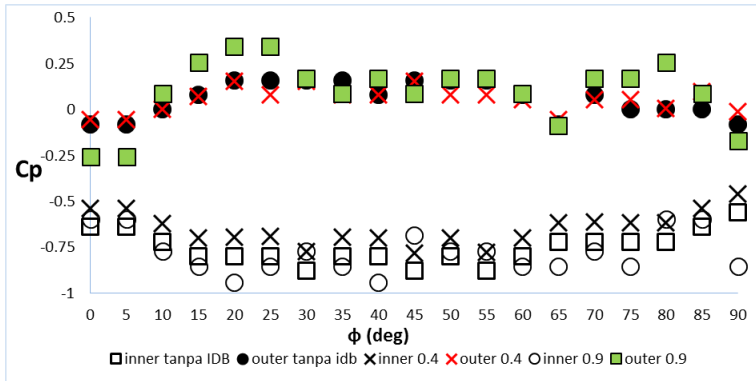
DAFTAR PUSTAKA

- S.Miller, Donald.1990. ***Internal Flows System, 2nd edition.***
BHRA (Information Services)
- Fox, R.W., Mc Donald, A.T., dan Pritchard, P.J, 1998,
Introduction to Fluid Mechanics, 5th edition, New York:
John Wiley and Sons.
- Munson, Bruce R., Young, Donald F. & Okiishi, Theodore H.
2002. ***Fundamentals of Fluid Mechanics, 4th Edition.*** New
York : John Wiley & Sons Inc
- A.Cengel, Yunus & M.Cimbala, John. 2006. ***Fluid Mechanics
Fundamental and Application.*** New York : The McGraw-
Hill Companies, Inc.
- Sutardi, A.W.Wawan, Affan.ibnu, Iswati, dan M.D.Sutrisno, 2010,
***Experimental Study on The Effect of Guide vane Insertion
abd Reynolds Numbers on The Flow Pressure drop in a 90
Rectangular Elbow,*** Journal, Jurusan Teknik Mesin, FTI-
ITS, Surabaya.
- A.W.Wawan dan Nuzul Hidayat, 2014, ***Experimental Study of
Drag Reduction on Circular Cylinder and Reduction of
Pressure drop in Narrow Channels by Using a Cylinder
Disturbance Body,*** Journal, Jurusan Teknik Mesin, FTI-
ITS, Suraba\\s ***Fundamental and Application.*** New York :
The McGraw-Hill Companies, Inc
- Halwan Firmansyah, Farich. 2016. ***Studi Eksperimen Aliran
Melalui Square Duct dan Square Elbow 90° Dengan
Single Guide Vane pada Variasi Sudut Bukaam Damper.***
JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 3 (2016) Tugas Akhir :
Teknik Mesin ITS-Surabaya.
- Hardian Aqfha, 2017, ***Studi Eksperimen Pengaruh Variasi
Jarak Inlet Disturbance Body Terhadap Aliran Melalui
Square Duct dengan Elbow 90°,*** Tugas Akhir, Teknik
Mesin ITS Surabaya.

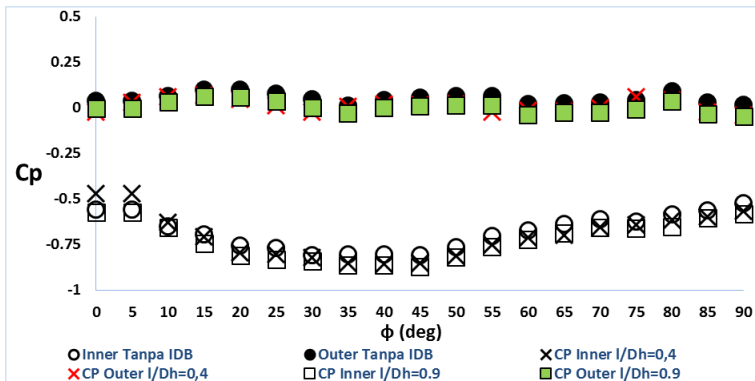
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

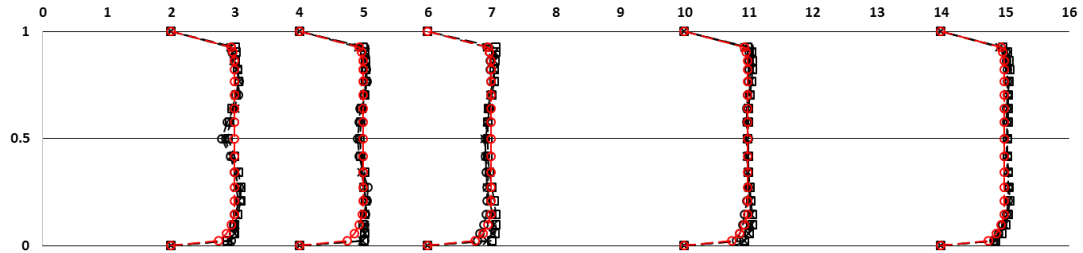
A.1 Grafik Coefficient Losses Elbow Reynolds Number 1.59×10^4



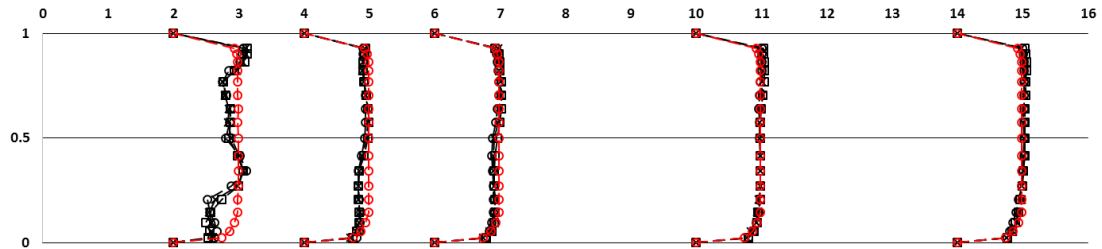
A.2 Grafik Coefficient Losses Elbow Reynolds Number 15.9×10^4



A.3 Grafik Profil Kecepatan Vertikal Downstream Reynols Number 9.5×10^5




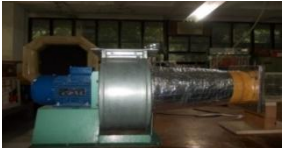





A.4 Grafik Profil Kecepatan Horizontal Downstream Reynols Number 9.5×10^5



A.5 Gambar Peralatan Penelitian

Tabel Peralatan penelitian

No	Nama Alat	Gambar
1	DAQ PRO 5300 0-24 mA; 0-10V max Input : 8 Rate : 100/sample Samples : 1000	
2	Differential Pressure Transmitter	
3	Inverter Model : ATV31HU15M2A U (V) : input = 200/240 Ø1 output = 200/240 Ø3 F (Hz) : input = 50/60 output = 0.5/500 I (A) : input = 15.8 max output = 8.0	
4	Centrifugal Fan Fan : type : VDC/4 – 225 0.75 kW; 1400 RPM 220 V; 50 Hz Motor : type : 71M4 – 4 B3 220/380 V; 50 Hz; 0.75 kW	
5	Pitot Static Tube	

		
6	Inclined Manometer Cairan : Kerosene SG = 0.827 Sudut (α) = 15°	
7	Threaded Disturbance Body Dimensi : $l = 125 \text{ mm}$ Tipe M6	

BIODATA PENULIS



Aulia Azizah dilahirkan di Surabaya, 04 Oktober 1995 merupakan anak yang terlahir dari orangtua bernama Bapak Umardini dan Ibu Noorul Hanany Rasyid. Riwayat pendidikan penulis diawali di TK AL-IKHLAS selama 2 tahun, selanjutnya SDN LIDAH KULON II SURABAYA selama 6 tahun dari tahun 2001-2006, kemudian masuk SMPN 16 SURABAYA selama 3 tahun dari tahun 2007-2009, dan SMAN

18 SURABAYA dari tahun 2010-2012. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang D3 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2013-2016 dan Lintas Jalur S1 Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2016.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis sempat magang staff kabirowirausahaan pada tahun 2014 dan magang staff bso pers pada tahun 2014. Selain organisasi penulis juga pernah mengikuti kejuaraan akademik yaitu Juara 2 PIMNAS ke 28 kategori PKM-T.

Penulis mempunyai prinsip bahwa kesuksesan bukan ditunggu, melainkan harus dikejar. Dan kesuksesan bukan faktor dari diri kita sendiri, melainkan dari Allah swt, orangtua, dan orang-orang tercinta. Apabila ada keluhan mengenai tugas akhir ini atau yang lain bisa menghubungi penulis lewat email: auliaazizah007@gmail.com